



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ISO-VALKEISEN VEDEN- OTTAMON VEDENLAADUN SELVITYS JA KÄSITTELYN TEHOSTUSTARPEET

TEKIJÄ: Saara Korhonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Saara Korhonen			
Työn nimi Iso-Valkeisen vedenottamon vedenlaadun selvitys ja käsittelyn tehostustarpeet			
Päiväys	20.4.2018	Sivumäärä/Liitteet	47/4
Ohjaaja(t) yliopettaja Pasi Pajula ja tuntiopettaja Juha-Matti Aalto			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Ylä-Savon Vesi Oy, käyttöinsinööri Sari Pyyny			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä työ tehtiin Ylä-Savon Vesi Oy:lle, joka huolehtii Ylä-Savon alueella talousveden toimittamisesta osakaskunnilleen Iisalmeen, Kiuruvedelle, Lapinlahdelle, Sonkajärvelle ja Vieremälle. Yhtiö vastaa toiminta-alueellaan hyvälaatuisen veden toimittamisesta osakaskunnille riittävällä paineella. Tehtäviin kuuluu myös pohjavesien tarkkailu ja vesihuollon kehittäminen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Varpaisjärvellä sijaitsevan Iso-Valkeisen pohjavedenottamon toimivan kuilukaivon nykytila ja vedenlaatu. Lisäksi suunniteltiin tarvittavat toimenpiteet, joiden avulla talousveden laatuvaatimukset täytetään jatkossa vettä alkaloimalla, jotta korroosiota ei pääsisi esiintymään. Kun alkalointiprosessi saadaan säädettyä optimaaliseksi, myöskin kalkkikivirouheen kulutus voidaan saada mahdollisimman vähäiseksi.</p> <p>Aluksi kirjallisuusosiossa perehdyttiin maailman ja Suomen pohjavesiin sekä niiden laatuun yleisesti, erilaisiin pohjavesikaivotyyppeihin ja tarkasteltiin kalkkikivialkaloinnin perusteita. Työssä määritettiin aiempien näytetulos-ten ja tätä opinnäytetyötä varten tehtyjen kokeiden perusteella kaivoveden laatu sekä suoritettiin koeajot labora-toriossa suodatinkolonnilla kahdella eri kalkkikivirouhelaadulla ja eri viipymillä sopivimman ratkaisun löytämiseksi. Työssä selvitettiin myös nykyisen kalkkikivialkaloinnin lisäksi mahdollista painesuodatusta kalkkikivirouheella.</p> <p>Kokeiden perusteella pidempi viipymäaika ja pienempi kalkkikiven raekoko tehostivat alkaloitumisprosessia. Vaikka viipymäaika oli koko ajan sama tai lyhyempi pienemmällä rouhekoolla, alkalointitehokkuus oli lähes sama kuin suuremmalla raekoolla.</p> <p>Työn tuloksena saatiin parannusehdotuksia, joiden pohjalta työn tilaaja voi ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin Iso-Valkeisen pohjavesikaivon vedenkäsittelyprosessin tehostamiseksi.</p>			
Avainsanat Pohjavedenotto, kuilukaivo, kalkkikivialkalointi, korroosio, painesuodatin			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Saara Korhonen			
Title of Thesis Water Quality Study of the Iso-Valkeinen Water Intake Plant and Needs for Process Intensification			
Date	20 April 2018	Pages/Appendices	47/4
Supervisor(s) Mr. Pasi Pajula, Principal Lecturer and Mr. Juha-Matti Aalto, Lecturer			
Client Organisation /Partners Ylä-Savon Vesi Ltd, Mrs. Sari Pyyny, Operating Engineer			
<p>Abstract</p> <p>This thesis was made for Ylä-Savon Vesi Ltd, which takes care of the drinking water supply for their partner municipalities Iisalmi, Kiuruvesi, Lapinlahti, Sonkajärvi ja Vieremä in the Ylä-Savo area. The facility is responsible for the supply of good quality water with sufficient pressure. Their duties are also groundwater monitoring and water management development. The objective of this thesis was to survey the current condition and water quality of a dug well which works as Iso-Valkeinen's groundwater intake in Varpaisjärvi. The aim was also to plan the necessary operations which help to meet the quality standards of drinking water in the future by alkalizing the water to prevent corrosion in the water network. When the alkalization process is adjusted to be optimal, also the consumption of limestone will be as low as possible.</p> <p>First, in the literature part, the world's and Finnish ground waters and their quality were studied in general. Also, different ground water well types and the basics of limestone alkalization were studied. In this thesis the quality of well water was surveyed on the grounds of former sampling results and the samplings which were executed for this thesis. The tests with filter column were conducted using two different limestone types and various retention times to find the most suitable solution in this case. Also, the current limestone alkalization and pressure filter technique were surveyed.</p> <p>The results of the tests showed that a longer retention time and smaller granule size of limestone improved the alkalization process. Also, even if the retention time was all the time shorter with the smaller granule size, the alkalization efficiency was almost the same as with the larger granule size which had longer retention time.</p> <p>As a result of this thesis, the proposals for process improvement were made to take the necessary actions in intensifying the water treatment process in the Iso-Valkeinen ground water well.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Ground water intake plant, dug well, limestone alkalization, corrosion, pressure filter</p>			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Ylä-Savon Vesi Oy:lle ja aihe liittyy heidän vuonna 2018 aloittamaansa vesilaitosten ja linjojen kehittämissuunnitelmaan. Haluan kiittää Ylä-Savon Veden käyttöinsinööri Sari Pyynyä kiinnostavan aiheen tarjoamisesta sekä kaikesta avusta ja ohjaamisesta, jota olen työni aikana saanut. Haluan kiittää myös Savonia-ammattikorkeakoulun laboratorion henkilökuntaa koejärjestelyissäni avustamisesta.

Työni ohjaamisesta ja mielenkiintoisten ideoiden jakamisesta kiitän yliopettaja Pasi Pajulaa ja tuntiopettaja Juha-Matti Aaltoa.

Lisäksi haluan kiittää perhettäni ja ystäviäni henkisestä tuesta ja kärsivällisyydestä.

Kuopiossa 20.4.2018

Saara Korhonen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	SUOMEN POHJAVEDET	8
2.1	Pohjaveden laatu	9
2.1.1	Alkaliteetti	11
2.1.2	Hiilidioksidi	11
2.1.3	Veden kovuus	11
2.1.4	Rauta ja mangaani	11
2.1.5	Veden syövyttävyys, pH ja sähkönjohtavuus	12
2.1.6	Veden mikrobit	12
2.2	Pohjavesikaivotyytit	12
2.2.1	Kuulukaivot	12
2.2.2	Siiviläputkikaivot	14
2.2.3	Porakaivot	16
3	ALKALOINTI	17
3.1	Kalkkikivialkalointi	18
3.2	Mitoitus	19
3.3	Kalkkikivialkaloinnin vaikutus veden syövyttävyyteen	19
3.4	Alkalointitehoon vaikuttavat ominaisuudet	20
3.5	Verkostokorroosio ja sen estäminen	20
3.6	Hooverin nomogrammi	21
4	YLÄ-SAVON VEDEN ISO-VALKEISEN POHJAVEDENOTTAMO	22
4.1	Iso-Valkeisen pohjavedenottamo	22
4.1.1	Ottamon ominaisuustiedot ja varustelu	23
4.1.2	Veden laatutiedot aiempien näytteiden perusteella	24
5	KOKEELLINEN OSA	25
5.1	Koejärjestelyt	25
5.2	Näytteenotto	29
5.3	Koeajojen suoritus ja analyysit	30
5.4	Tulokset	31
5.4.1	Raakavesi	31
5.4.2	A2-rouheella suodatettu vesi	32

5.4.3	A1-rouheella suodatettu vesi.....	34
5.4.4	Tulosten analysointi	35
5.5	Koejärjestelyiden kehityskohteita	35
6	KÄSITTELYPROSESSIN TEHOSTUSTARPEET JA ISO-VALKEISEN VEDENOTTAMOLLE SUOSITELLUT RATKAISUT.....	37
6.1	Nykyinen vedenkäsittelyprosessi	37
6.1.1	Tehostuskeinoja kaivon pohjalla tapahtuvaan alkalointiin.....	37
6.1.2	Painesuodatus	38
6.1.3	UV-desinfiointi	39
6.1.4	Hiilidioksidin syöttö.....	40
6.2	Suosittelavat ratkaisut vedenkäsittelyprosessin tehostamiseksi Iso-Valkeisen pohjavedenottamolle40	
6.2.1	Vaihtoehto 1: Nykyinen kaivon pohjalla tapahtuva kalkkikivialkalointi	41
6.2.2	Vaihtoehto 2: Painesuodatin	41
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	43
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	45
	LIITE 1: ISO-VALKEISEN POHJAVEDENHANKINTAKAAVIO	48
	LIITE 2: HOOVERIN NOMOGRAMMI	49
	LIITE 3: ISO-VALKEISEN NÄYTETULOKSET 2006–2017	50

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on Varpaisjärvellä sijaitsevan Iso-Valkeisen pohjavedenottamon vedenlaadun tutkimus ja vedenkäsittelyprosessin kehittämistyö. Sain aiheen Ylä-Savon Vesi Oy:n käyttöinsinööri Sari Pyynyltä, ja aihe liittyy heidän tänä vuonna 2018 aloittamaansa kehittämissuunnitelmaan vesilaitoksille ja linjoille. Työn tavoitteena on tarkastella Iso-Valkeisen pohjavedenottamon vedenlaatua ja tämän perusteella suunnitella, miten vedenkäsittelyprosessia voitaisiin tehostaa. Aiemmin tehtyjen näytteenottojen perusteella pohjavesi on melko hapanta, kuten Suomessa yleisestikin. On siis tärkeää huolehtia, ettei vesi tulevaisuudessa aiheuttaisi korroosiota verkostossa. Tässä opinnäytetyössä määritetään veden laatu kaivosta ja myös kaivon pohjassa olevasta kalkkikivestä otetaan näyte, jotta nykyinen alkalointitehokkuus saadaan selvitettyä. Savonian laboratorioon rakennetaan laitteisto, jolla testataan eri viipymien ja kalkkikiven raekokojen vaikutusta alkalointitehokkuuteen. Saatujen tulosten perusteella vertaillaan vedenkäsittelyvaihtoehtoja eli tämän hetkistä kalkkikivisuodatusta ja prosessin parantamiseksi mahdollisesti tarpeen vaatiessa rakennettavaa painesuodatusta. Vedenottamolle on myös suunnitteilla hankkia UV-desinfiointi, jotta veden laatu voitaisiin turvata myös mikrobiologisen saastumisen varalta tulevaisuudessa.

Aihe on yhteiskunnallisesti vedenkäyttäjien kannalta tärkeä, koska sosiaali- ja terveysministeriön laattiman talousvesiasetuksen 683/2017 mukaan *"Talousvedessä ei saa olla pieneliöitä tai loisia taikka mitään aineita sellaisina määrinä tai pitoisuuksina, joista voi aiheutua terveyshaittaa ihmisille. -- Talousveden on oltava myös muuten käyttötarkoitukseensa soveltuvaa. Se ei saa aiheuttaa haitallista syöpymistä tai haitallisten saostumien syntymistä vedenjakeluverkostossa, kiinteistön vesilaitteistossa eikä vedenkäyttölaitteissa."* Asetusta sovelletaan muun muassa talousveteen, jota toimitetaan vesilaitokselta talousvesikäyttöön vähintään 10 m³ päivässä. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus...2017, §4.)

Työn kirjallisuusosiossa syvennyttään aluksi pohjaveden laatuominaisuuksiin maailmalla ja Suomessa yleisesti sekä eri pohjavesikaivotyyppeihin. Tämän jälkeen perehdytään kalkkikivialkaloinnin perusteisiin, Ylä-Savon Veden toimintaan ja nykyiseen vedenlaatuun Iso-Valkeisen vedenottamolla. Kokeellisessa osassa esitellään koejärjestelyiden suorittaminen, laboratoriomääritykset ja tulokset käsittelyn jälkeen. Lisäksi perehdytään keinoihin, joilla prosessia saataisiin tehostettua eli painesuodatus alkaloivalla massalla ja kalkkikivimäärän oikea mitoittaminen kaivon pohjalle. Ylä-Savon Vesi Oy voi käyttää saatuja tuloksia hyödykseen suunnitellessaan, miten vesi kannattaisi käsitellä jatkossa Iso-Valkeisen vedenottamolla mahdollisimman kustannustehokkaasti vedenlaadusta tinkimättä.

2 SUOMEN POHJAVEDET

Viime vuosikymmeninä pohjavedestä on tullut yksi tärkeimmistä luonnonvaroista monissa maissa eri puolilla maailmaa. Pohjavedellä on monia etuja pintavedeen nähden: yleisesti parempi laatu, paremmin suojassa mahdollisilta saasteilta, eikä pohjaveden määrä ole niin altis myöskään eri vuodenaajoista tai vuosista aiheutuvalle vaihtelulle ja se on yleensäkin levittäytynyt laajemmille alueille kuin pintavesi. Usein pohjavettä on saatavilla alueilla, missä ei ole pintavettä. Pohjavesikaivokenttien käyttöönotto voi olla osittain ratkaisuna kasvavaan veden kulutukseen, kun pintaveden käyttöönottoa varten vaadittavat vesitekniset laitokset taas yleensä vaativat merkittävää kertosijoitusta. Nämä edut yhdessä pohjaveden vähentyneen pilaantumisalttiuden kanssa ovat johtaneet pohjaveden laajaan käyttöön talousvetenä. Pohjavesi on ainoa talousveden lähde esimerkiksi Tanskassa, Maltalla ja Saudi-Arabiassa. Eräissä maissa suuri osa vedenkulutuksesta katetaan pohjavedellä, kuten Tunisiassa 95 %, Belgiassa 83 %, Saksassa, Alankomaissa ja Marokossa 75 %. Kuivan ja keskikuivan ilmaston maissa pohjavettä käytetään laajalti kasteluvetenä. Noin yksi kolmasosa maailman viljellyistä maa-alueista kastellaan pohjavedellä. Kastelluista maa-alueista pohjavedellä kastellaan Yhdysvalloissa 45 %, Iranissa 58 %, Algeriassa 67 % ja Libyassa kastelu on kokonaan laadukkaan pohjaveden varassa. Monissa Euroopan maissa pohjavesi on juoma- ja talousveden päälähde. Eräissä maissa kuten Bulgariassa, Unkarissa ja Venäjällä on tiukka vesilainsäädäntö, joka määrää mihin makeaa pohjavettä saa pääasiassa käyttää. Pohjavettä saa siis käyttää talousveden ja juomaveden tuotannon lisäksi teollisuuteen ja kasteluun vain, jos pohjavesivarastot ovat riittävät. Ihmisten intensiivinen toiminta voi vaikuttaa sekä pohjaveden laatuun, että määrään. Pohjavesivarantoihin vaikuttavat muun muassa pohjaveden hyväksikäyttö kaivokentiltä juomaveden ja teollisuuden veden tuotantoon, viljelysten kastelu, kaivostoiminta, öljy- ja kaasukenttien laajeneminen, rakennustoiminta, maaseutualueiden kehitys ja metsätaloustoiminnot. Kaikki nämä toiminnot johtavat muutoksiin pohjaveden aktiivisissa muo-
dostumisolosuhteissa ja pohjavesivarastoissa. (Zektser ja Everett 2004, 13, 292.)

Suomessa pohjavesi on uusiutuva luonnonvara, jota voidaan hyödyntää vuosi toisensa jälkeen. Pohjavettä esiintyy Suomessa lähes kaikkialla, mutta pohjavesivarat eivät ole jakaantuneet tasaisesti, vaan pohjaveden määrä ja laatu vaihtelevat alueellisesti. Suurimpia kaupunkeja lukuun ottamatta pohjavesi on yleisin talousveden lähde. Yhdyskuntien vedenhankinnasta pohjavesi kattaa noin 50 %, tekopohjavesi 15 %, ja pintaveden osuudeksi jää loput 35 %. Vedenhankinnassa on ollut tavoitteena 1970-luvulta lähtien pohjavesien käytön lisääminen. Pohjavesien osuus vedenhankinnassa onkin kasvanut tasaisesti. Tulevaisuudessa tekopohjaveden käytön raakavetenä uskotaan nousevan pohjaveden rinnalla. Pohjavedestä ei ole hyötyä vain talousveden tuotannossa, vaan siitä saadaan myös muita merkittäviä hyödykkeitä ja palveluita, eli niin sanottuja ekosysteemipalveluita. Pohjavedet ylläpitävät erilaisia elinympäristöjä ja ekosysteemejä purkautumalla tyypillisesti pintavesiin ja muihin vesimuodostumiin, kuten jokiin, lähteisiin ja kosteikkoihin. Tätä kautta pohjavedet siis vaikuttavat pintavesien ja pohjavedestä riippuvaisten ekosysteemien toimintoihin, ja siten lopulta myös ihmisiin. Pohjaveden määrä on Suomessa 700 km³ eli seitsenkertainen pintaveden määrään nähden. Yleisenä piirteenä on pohjavesiesiintymien pieni koko ja sijainti kaukana suurista asutuskeskuksista. Poikkeuksena tästä on Salpausselän alue. Toisaalta pohjavesiesiintymien sirpaleisuus estää pohjaveden pilaantumisen leviämistä suurille alueille. (Vesihuolto I: RIL 124-1 2003, 257; SYKE 2013, 10.)

Vuonna 2015 Suomessa uudistettiin lakia vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä. Uuden lainsäädännön myötä kaikkia pohjavesialueita tarkastellaankin niiden suojelutarpeen ja vedenhankintakäyttöön soveltuvuuden kannalta. Samalla myös tarkastellaan pohjavesialueilla sijaitsevia ekosysteemejä, jotka ovat riippuvaisia pohjavesistä. Tarkastelussa hyödynnetään taustatietoina aiemmin tehtyjä pohjavesialueiden tutkimuksia ja uutta geologista tietoa. Ajantasaisia tietoja tarvitaan vesienhoidon, vedenhankinnan ja maankäytön suunnittelussa sekä pohjaveden suojelutarpeen määrittelyssä. Luokitus on tarkoitus saada valmiiksi vuoden 2018 loppuun mennessä. ELY-keskukset luokittelevat jatkossa pohjavesialueet seuraavasti (ELY-keskus.fi):

- 1-luokka: vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue
- 2-luokka: muu vedenhankintakäyttöön soveltuva pohjavesialue
- E-luokka/merkintä: pohjavesialue, jonka pohjavedestä muun lainsäädännön perusteella suojeltu pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen.

Mikäli alueeseen liittyy pohjavedestä suoraan riippuvainen pintavesi- tai maaekosysteemi, käytetään lisäksi E-merkintää (1E tai 2E). (SYKE 2016, 30).

Suomessa on 5 420 kappaletta Ympäristöhallinnon kartoittamia ja luokittelemia pohjavesialueita. Näistä tärkeitä pohjavesialueita on 1 916 (35 %), vedenhankintaan soveltuvia 1 497 (28 %) ja muita pohjavesialueita 2 007 (37 %). Arvioitu antoisuus eli määrä, joka vesistöistä voitaisiin jatkuvasti pumpata muualle kulutukseen, on yli 5 miljoonaa m³ päivittäin ja vesihuoltolaitosten jakaman veden määrä on noin 0,7 miljoonaa m³. Pohjavettä muodostuu siis paljon enemmän kuin sitä otetaan. (SYKE 2013, 10; Hertta-järjestelmä 2018.)

2.1 Pohjaveden laatu

Pohjaveden ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat sadeveden laatu, sääolosuhteet, maaperän ominaisuudet ja ihmistoiminta. Pohjavedellä, samoin kuin pintavedelläkin on alhainen elektrolyyttipitoisuus. Pohjavesissä on kuitenkin havaittavissa liuenneita aineita selvästi enemmän kuin saman alueen pintavesissä. (Vesihuolto I: RIL 124-1 2003, 256.)

Pohjavesi on peräisin sateesta ja lumen sulamisvesistä, joten sadanta on tärkein pohjaveden laatuun vaikuttavista meteorologisista tekijöistä. Pohjavesien alkuainepitoisuudet ovat siis osittain riippuvaisia sadeveden koostumuksesta. Evapotranspiraatio eli maa-alueelta tapahtuva haihtuminen lisää sadanan mukana tulleiden aineiden pitoisuuksia pohjavedessä. Kesäisin haihdunta on suurinta, joten silloin sadevedestä tulleiden aineiden pitoisuudetkin ovat suurempia maaperässä. Sadevesi on melko happanta, pH on 4–6:n välillä, koska hiilidioksidia on sadevedessä ilman hiilidioksidin osapainetta vastaava kyllästysarvo eli noin 0,6 mg/l. (Airaksinen 1978, 168–169.)

Akviferin rakenne vaikuttaa merkittävästi pohjaveden laatuun. Paksujen savikerrosten välissä pitkään virrannut pohjavesi sisältää runsaasti liuenneita aineita, kun taas saman saven päällä oleva, samalla

paikalla muodostunut pohjavesi on vähäsuolaista. Maaperän raekoostumus ja huokoisuusominaisuudet vaikuttavat myös pohjaveden laatuun. Hienorakeisissa pintakerroksissa vesi suotautuu hitaammin läpi, ja epäpuhtaudet jäävät matkan varrelle, kuin karkeissa maalajeissa vesi taas vajoaa nopeasti ehtimättä puhdistua kunnolla. Toisaalta hienorakeisesta siltistä veteen joutuu heti suotautumisen alkuvaiheessa maahiukkasista liukenevia aineita enemmän kuin karkearakeisista maalajeista. Maa- ja kallioperässä olevat mineraalit ja eri kivilajit vaikuttavat niin, että korkeissa lämpötiloissa kiteytyneet mineraalit ja niistä koostuvat kivilajit liuottavat itsestään enemmän aineksia veteen kuin matalissa lämpötiloissa kiteytyneet, rapautumista paremmin kestävät mineraalit. Rautaa ja mangaania liukenee pelkistävässä oloissa muun muassa kiilteistä, mutta ne pyrkivät saostumaan uudelleen, kun happipitoisuus nousee. (Airaksinen 1978, 169–170.)

Maan pintakerroksessa erityisesti tapahtuu lukuisia biologisia ja kemiallisia prosesseja, jotka vaikuttavat alempana olevan pohjaveden laatuun. Maan ylimmästä kerroksesta peräisin olevat humushapot ja pitkälle hajonneet orgaaniset ainekset liukenevat sade- ja sulamisvesiin. Ilmakehästä tulee happea maaperään, mikä kuluu osaksi orgaanisen aineksen hajoamiseen, ja näin ollen happipitoisuus pienee syvemmälle mentäessä. Biologisten toimintojen seurauksena maan huokosissa olevan ilman hiilidioksidipitoisuus on suurempi kuin ilmakehän. Hiilidioksidi voi liueta maaperään imeytyneeseen veteen tai vapautua ilmakehään. Veden suotautuessa alas sen bikarbonaattikovuus kasvaa ja suurin osa liuenneista aineista (kalium, magnesium, natrium ja piidioksidi) siirtyy pysyvästi pohjaveteen. Eli pintakerroksen alle syntyy pitkän ajan kuluessa mineraaleista huuhtoutunut uutekerros. Rauta, mangaani ja alumiiniyhdisteet hapettuvat yleisesti vedessä olevan hapen vaikutuksesta uutekerroksen alapuolella saostuvaan muotoon. (Airaksinen 1978, 171–173.)

Ihmistoiminnan seurauksena pohjaveden laatu saattaa huonontua. Pohjaveden likaantumisalttius on riippuvainen monista paikallisesti vaihtelevista maa- ja kallioperän ominaisuuksista. Maa- ja metsätaloudesta saattaa pohjaveteen joutua lannoitteista liuenneita aineita kuten nitraattia ja ammoniakkia. Nitraatit huuhtoutuvat helposti pohjaveteen saakka, kun taas ammoniakki sitoutuu tehokkaasti kasveihin sekä humus- ja savikollodeihin. Maahan imeytyvässä vedessä on aina bakteereja ja viruksia, myös patogeenisia. Niiden määrä voi lisääntyä esimerkiksi maan lannoituksen tai jätevesilietteen levielyn seurauksena. (Airaksinen 1978, 174.)

Yleisesti maailmalla pohjavedet ovat tasalaatuisia, mutta vaativat käsittelyä kovuutensa sekä rauta- ja mangaanipitoisuutensa vuoksi. Pohjaveden suolapitoisuus lisääntyy vesivaraston syvyyden kasvaessa ja kuivan maanpäällisen ilmaston seurauksena. Esimerkiksi Yhdysvalloissa pohjaveden yleisimpiä käsittelytarpeita aiheuttavat rauta ja mangaani, kovuus, suolapitoisuus, humus ja mineraaleista peräisin olevat epäorgaaniset aineet, jotka voivat olla karsinogeenisia tai myrkyllisiä liian suurina pitoisuuksina. Pohjavedelle yleisiä käsittelytekniikoita ovat ilmastus, pehmennys ja ioninvaihto, suodatus, korroosion esto, desinfiointi ja fluorin lisääminen. Yleisimmät käsittelytarpeet suomalaisissa pohjavesissä aiheutuvat liiallisesta rauta- ja mangaanipitoisuudesta sekä pohjaveden syövyttävyydestä. Pohjavesilaitosten epidemiat ovat yleensä aiheutuneet juomaveden hygieenisestä likaantumisesta putkirikon yhteydessä, sillä pienet pohjavesilaitokset eivät useinkaan ole varautuneet desinfiointiin. (Vesihuolto

I: RIL 124-1 2003, 44; Zektser ym. 2004, 23; Howe, Hand, Crittenden, Trussel ja Tchobanoglous 2012, 9–11; American Water Works Association 2014, 207.)

2.1.1 Alkaliteetti

Alkaliteetti kuvastaa veden kykyä neutraloida happoja ja vastustaa pH:n muutosta. Useimmiten alkaliteetti aiheutuu veden sisältämästä bikarbonaatista. Suomen pohjavesille tyypillistä on alhainen alkaliteettipitoisuus ja tämän takia vesilaitoksilla lisätäänkin veden alkaliteettia vesijohtoverkoston metallisten osien syöpymisen ehkäisemiseksi. Alkaliteettia aiheuttavat bikarbonaatit (HCO_3^-), karbonaatit (CO_3^{2-}) ja hydroksidit (OH^-). (Vesihuolto I: RIL 124-1 2003, 215.)

2.1.2 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi on veden tärkein heikko happo. Vedessä olevan hiilidioksidin ja eräiden metallien karbonaattien väliset reaktiot ovat tärkeitä niin vesihuoltotekniikassa kuin luonnon olosuhteissa pohjavedessä. Hiilidioksidia siirtyy ilmasta veteen ja päinvastoin tasapainotilanteen mukaan. Hiilidioksidia tulee veteen myös mikrobiologisista prosesseista. Pohjavedet ovat yleensä suuren hiilidioksidipitoisuutensa vuoksi erittäin aggressiivisia. (Vesihuolto I: RIL 124-1 2003, 216–217, 256.)

2.1.3 Veden kovuus

Veden kovuus on yhteisnimitys veden ominaisuuksille, jotka johtuvat veteen liuenneista metallisuoloista. Tässä tapauksessa alkalimetallien suoloja ei siis oteta huomioon, koska ne eivät aiheuta vedelle samantyyppisiä ominaisuuksia kuin muut metallit. Kovuudesta suurin osa aiheutuu kalsiumin ja magnesiumin suoloista. Nämä metallit esiintyvät vedessä joko vetykarbonaatteina tai mineraalihappojen suoloina, eli useimmiten sulfaatteina ja klorideina. Jos kaikki hiilidioksidi poistetaan vedestä, kalsiumin ja magnesiumin bikarbonaatit hajoavat, jolloin vastaava karbonaatti saostuu ja aiheuttaa veden pehmenemisen. Vetykarbonaatista aiheutuva kovuus on siis bikarbonaattikovuutta tai ohimenevää kovuutta. Mineraalihappojen suoloista johtuva kovuus ei taas ole millään tavalla riippuvainen hiilidioksidista ja tätä osuutta kovuudesta kutsutaankin pysyväksi tai mineraalihappokovuudeksi. Pohjavesien kovuus on yleensä pieni ja aiheutuu enimmäkseen bikarbonaatista. (Vesihuolto I: RIL 124-1 2003, 216, 256.)

2.1.4 Rauta ja mangaani

Rautaa ja mangaania esiintyy yleisesti Suomen pohjavesissä. Rauta on yleensä bikarbonaattimuodossa, mutta jos orgaanista ainetta on läsnä, voi rauta olla kompleksiyhdisteenä sitoutuneena sen kanssa. Yhdisteenä oleva rauta lisää veden väriä. Korkeaan rauta- tai mangaanipitoisuuteen voivat olla syynä esimerkiksi niiden epätavallisen korkea pitoisuus maaperässä, pohjaveden pinta on niin lähellä maanpintaa, ettei saostuminen ehdi tapahtua tai hapettomissa olosuhteissa saostuneet rautayhdisteet muuttuvat liukoiseen muotoon. Raudan ja mangaanin haitat juomaveteen ovat teknis-

esteettisiä. Juomaveden mangaanin terveyshaitoista ei ole yksiselitteistä tietoa, mutta suurina pitoisuuksina ($> 100 \mu\text{g/l}$) se voi joidenkin tutkimusten mukaan aiheuttaa neurotoksisia oireita. (Vesihuolto I: RIL 124-1 2003, 256–257; Ymparisto.fi.)

2.1.5 Veden syövyttävyyys, pH ja sähkönjohtavuus

Veden happamuutta kuvaava pH-arvo on tärkeä pohjaveden laatuominaisuus, joka kertoo veden kemiallisesta koostumuksesta. Suomen pohjavedet ovat luonnostaan metallisia verkostomateriaaleja syövyttäviä alhaisen pH-arvonsa ja pehmeytensä vuoksi. Sähkönjohtavuus eli veden suolaisuus kuvaa veteen liuenneiden, ionisoituneiden aineiden kokonaispitoisuutta. Lämpötilan nousu ja pH:n lasku parantavat sähkönjohtavuutta hieman. Jos vedessä on luontaisesti paljon klorideja, siinä on usein runsaasti muitakin suoloja ja sähkönjohtavuuskin on korkea. Puhtaan veden sähkönjohtavuus on pieni. (Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 3; Pohjavesitutkimusopas 2005, 66, 85, 116–117, 161.)

2.1.6 Veden mikrobit

Vedessä olevilla mikro-organismeilla on välitön vaikutus veden laatuun. Patogeeniset mikro-organismit aiheuttavat uhrilleen erilaisia infektioita. Jotkut mikro-organismit voivat aiheuttaa pohjaveteen häiritsevää hajua, makua tai myrkkyä. Jakeluverkostossa ne voivat aiheuttaa esteettisiä haittoja, limoittumista sekä korroosiota. Tutkittaessa mikro-organismeja keskitytään määrän selvittämiseen ja mikro-organismin tunnistamiseen. Tunnistaminen on kuitenkin vaikeaa ja siksi keskitytään tietänyttypisten bakteerien määrittämiseen. Esimerkki tällaisesta on heterotrofisten bakteerien kokonaismäärä. (Vesihuolto I: RIL 124-1 2003, 241, 245.)

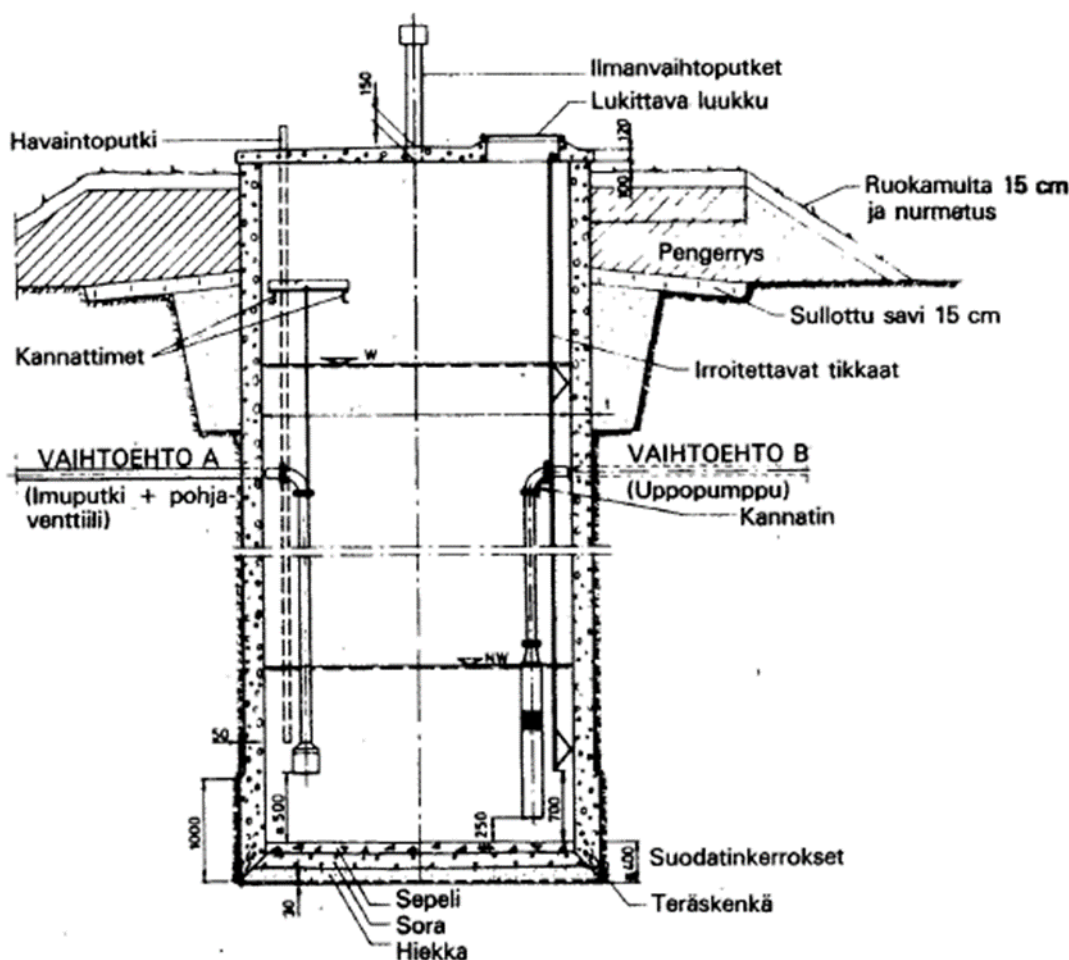
2.2 Pohjavesikaivotyypit

Pohjaveden käyttöönottoa varten valittavan kaivon tyyppi riippuu rakennuspaikan maaperästä, otamon tehosta ja pohjaveden pinnan korkeudesta maanpintaan verrattuna. Kuilukaivoa kannattaa harkita, kun maaperä ei ole kivistä eikä näin ollen estä rakentamista, pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa ja vettä läpäisemätön kova pohja on korkealla. Maaperän tulisi myös olla riittävän karkeaa, jotta esiintymän koko antoisuutta pystytään hyödyntämään yhdellä kaivolla. Putkikaivo tulee kyseen, kun pohjavesi on syvällä, vettä johtava kerros on paksu ja koko antoisuuden hyödyntämiseksi tarvitaan useampia kaivoja. Porakaivo kannattaa rakentaa, kun kumpikaan edellä mainituista vaihtoehdoista ei tule kysymykseen ja kallioperä on riittävän lähellä maanpintaa. Kaivon suunnittelun perustana ovat siis luotettavat maaperä- ja pohjavesiolosuhteiden tutkimukset. (Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 280–281.)

2.2.1 Kuilukaivot

Teräsbetoninen kuilukaivo on tavallisesti läpimitaltaan 2,0–4,0 m ja syvyydeltään 6–10 m. Kuvassa 1 on esitetty teräsbetoninen kuilukaivo. Betonivalutyö tehdään kaivon sijaintipaikalla 2 metrin määräosissa tai liukuvalumenetelmällä. Betonikehys siis painetaan alas uppotyönä, jossa maa poistetaan

kaivon sisältä kaivamalla veden alla. Nykyisin kehykset tehdään lähes poikkeuksetta betonista, mutta aiemmin on käytetty myös puuta, kiviä tai tiiliä. Kaivon teräsbetonisen seinämän on oltava riittävän luja, koska sen on kestävä myös upotusvaiheen aikana syntyvät rasitukset. Seinämän on oltava riittävän paksu, betonin lujuuden vähintään BK 30 ja teräsmäärän riittävä. Kaivon pohjalle asennetaan suodatinosa, jossa tulee olla vähintään kaksi rakeisuudeltaan erilaista suodatinkerrosta hienojen aineiden jatkuvan poishuuhtoutumisen ja pohjan nousun estämiseksi. Kaivon alle pitää jättää vähintään 0,5–1,0 metrin paksuinen vettä hyvin johtava kerros, eli sitä ei upoteta aivan pohjamoreeniin tai kalliin asti. Ennen kaivon käyttöönottoa, suoritetaan huuhtelupumppaus, jolla hienoaaines saadaan pois suodatinosasta sekä sen alla ja sivuilla olevasta maasta. Betonirengaskaivo on tavallisesti läpimitaltaan teräsbetonista kaivoa kapeampi, 80–120 cm ja syvyydeltään korkeintaan 8–10 m. Kun kaivoa rakennetaan, tulee maata poistaa aluksi kaivupaikalta 2–3 m, mutta kuitenkin enintään pohjavedenpintaan saakka. Alkukaivannon pohjalta kaivutyötä jatketaan betonirenkaiden tai tukilankutuksen sisältä. Kaivu tehdään useimmiten kuivatyönä, eli kaivantoon tuleva vesi pumpataan pois. Renkaiden tiivistämiseen käytetään esimerkiksi sementtilaastia. (Airaksinen 1978, 197–199; Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 283–284.)



KUVA 1. Teräsbetoninen kuilukaivo (Airaksinen 1978, 199, kuva 8.2.)

Kuulukaivot mitoitetaan niin, ettei maa-aines pääse liikkumaan virtauksen mukana. Mikäli vesi virtaa kaivoon vain pohjan kautta, käytetään mitoitukseen seuraavaa kokemukseräistä kaavaa (Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 284):

$$Q_s = \frac{D_s^2 \cdot \pi \cdot d_{10}}{4 \cdot 280} \quad (1)$$

, missä

Q_s = kaivon tuotto, m³/s

D_s = kaivon sisäläpimitta, m

d_{10} = perusmaan tehokas raekoko, mm

280 = kokemukseräisesti saatu luku.

2.2.2 Siiviläputkikaivot

Putkikaivon muodostaa syöpymättömästä materiaalista valmistettu putki, jonka alaosassa on siiviläosa, joka ulottuu pohjavedenpinnan alapuolelle vettä johtavaan kerrokseen. Vesi pääsee sisään putkeen siiviläosassa olevien reikien tai rakojen kautta. Jotta maahiukkasia ei kulkeutuisi kaivoon, ympäröidään se yksin- tai kaksinkertaisella hiekkasuodattimella. Suodatinkerros voidaan tehdä suihkuhuuh-
telemalla, jos maaperä on tarpeeksi homogeenistä, eivätkä hiekanjyvät tuki siivilää tai keinotekoisesti lisäämällä suodatinainetta kaivantoon. Molemmissa tapauksissa hienoaines poistuu pumppauksen edetessä ja vain karkeammat ainekset jäävät siivilää vasten. Kaivon ja siivilän materiaaleiksi sopivat päällystetty teräs, muovi ja keraamiset putket. Putkikavo rakennetaan suojaputken avulla, joka upotetaan haluttuun syvyyteen. Sen keskelle lasketaan kaivo siiviläputkineen, jonka vapaa tila voidaan täyttää suodatinaineksella ja suojaputki vedetään pois. Suodatinosan ja kaivon halkaisija on mitoitettava oikein huomioon ottaen maaperän ominaisuudet ja vedenoton teho, jotta virtausnopeus saadaan pidettyä sallituissa arvoissa. Siivilä saattaa tukkeutua, jos virtausnopeus on liian suuri ja vedessä paljon saostuvaa liuennutta ainesta tai hienojakoista kiintoainesta. Virtaustilan tulisi myös pysyä laminaarisella alueella molemmissa, maaperässä ja suodatinosassa. (National Ground Water Association 1998, 5-1; Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 285–286.)

Suodatinkerroksen ulkohalkaisija D_p , eli työputken halkaisija voidaan laskea kokemukseräisellä kaavalla (Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 286):

$$D_p = \frac{m \cdot Q}{\pi \cdot L \cdot d_{10}} \quad (2)$$

, missä

D_p = suodatinosan halkaisija, mm

Q = kaivon tuotto, m³/s

L = siiviläosan pituus, m

d_{10} = maaperän tehokas raekoko, mm

m = kerroin = 280.

Siiviläosan pituus L tulee valita siten, että siivilän yläpää ei jää missään olosuhteissa pohjavedenpinnan yläpuolelle, koska välillä kuivaksi jäävä siivilä saattaa tukkeutua helposti. Virtaaman laminaarisuus voidaan tarkistaa kaavalla (Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 286):

$$v_f = \frac{Re \cdot \mu}{d_s \cdot 10^{-3}} \quad (3)$$

, missä

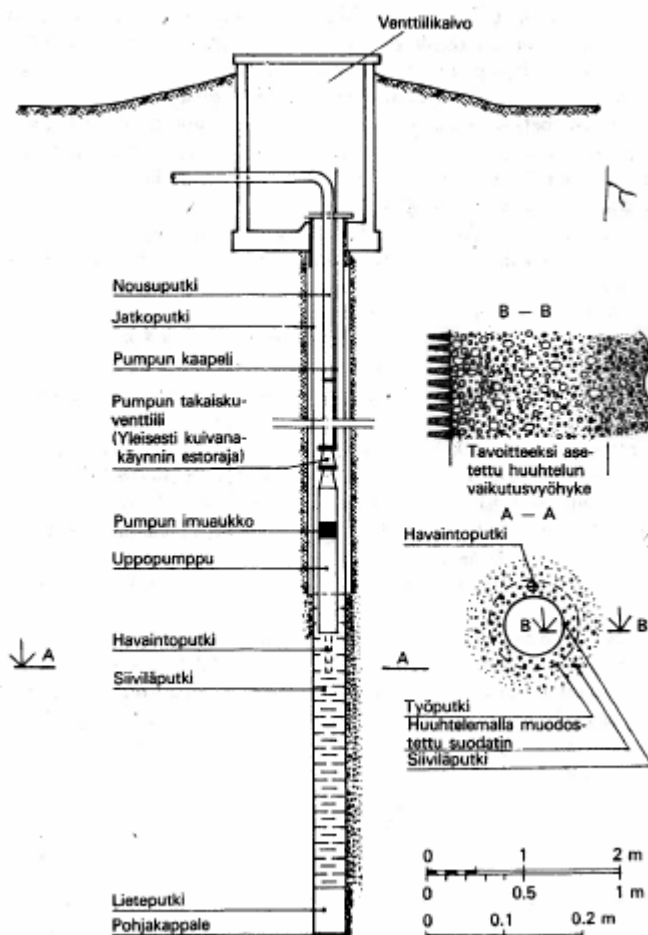
Re = Reynoldsin luku < 10

μ = kinemaattinen viskositeetti (kun $t = 5,5$ °C on $\nu = 1,5 \times 10^{-6}$ m²/s)

d_s = siiviläputkeen rajoittuvan suodatinkerroksen keskimääräinen raekoko, mm

v_f = voidaan laskea kaivon halkaisijan D , tuoton Q ja siiviläpituuden L avulla.

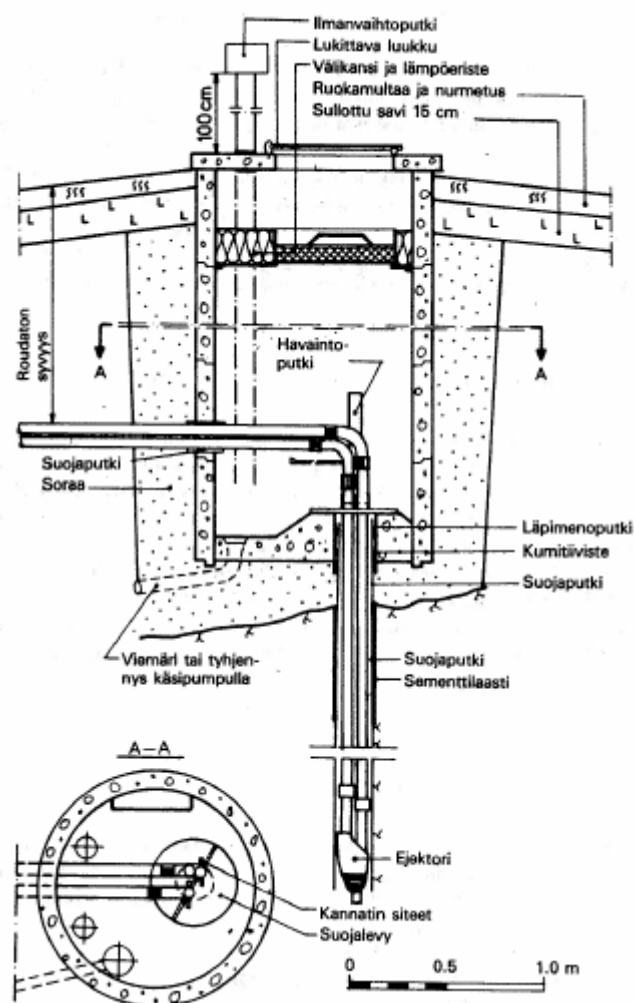
Kuilukaivo ja putkikaivo tulee kattaa ja huomioida kaivon ympäristön tiiviys vettäläpäisemättömällä maalla, jotta pintavesien pääsy pohjaveteen kaivorakenteita pitkin estetään. Kuvassa 2 on suihkuhuuhtelumenetelmällä tehty siiviläputkikaivo. (Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 287).



KUVA 2. Siiviläputkikaivo, suihkuhuuhtelumenetelmä (Airaksinen 1978, 201, kuva 8.4.)

2.2.3 Porakaivot

Porakaivoja tehdään veden saamiseksi eri syvyyksiltä joko säröisestä tai halkeilemattomasta lujasta maaperästä. Porakaivo voidaan suojata vedenotto-osuuden yläpuolelta, jos sen maaperä on vahvistamatonta tai epävakaata. Näin estetään porakaivon sortuminen ja ei halutun veden pääsy kaivoon. Kallioporakaivot tehdään nykyisin pääosin poraamalla 100–150 mm reikäkokoa käyttäen. Syvyys voi olla jopa satoja metrejä, mutta antoisuutta harvoin pystytään lisäämään 100–150 metrin jälkeen. Suomen kallioporakaivojen keskimääräinen antoisuus on 40–50 m³/d ja keskisyvyys 50–60 metriä. Suojaputki estää pintavesien pääsyn kaivoon. Pumppuvaihtoehtoja ovat uppopumput ja ejektorit. Kuvasssa 3 on esimerkki kallioporakaivosta. (National Ground Water Association 1998, 2-2; Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 288.)

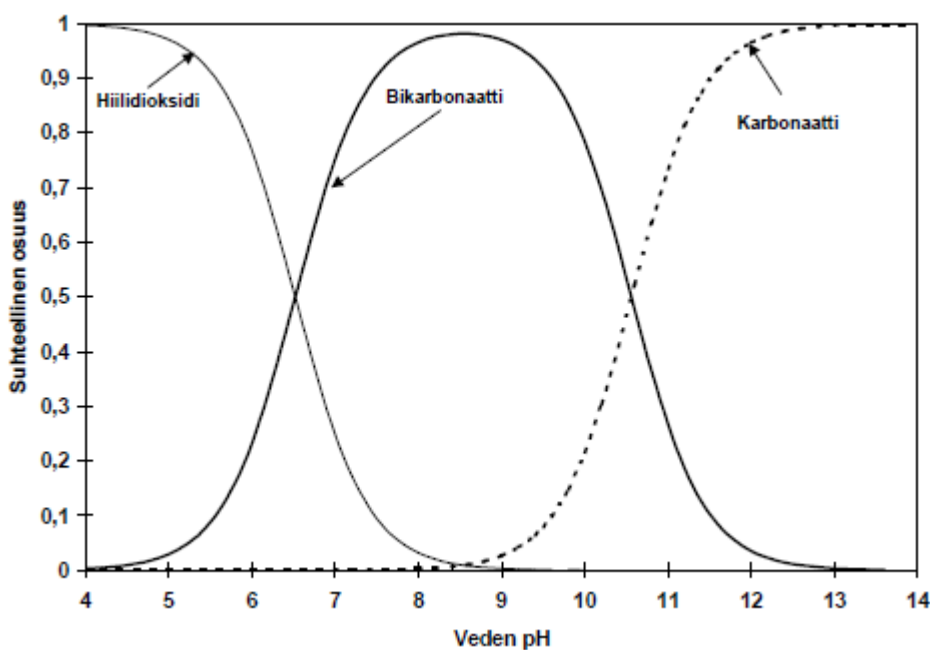


KUVA 3. Kalliokaivo (Airaksinen 1978, 203, kuva 8.5.)

3 ALKALOINTI

Pääsääntöisesti Suomen pohjavedet edellyttävät alkalointia happamuutensa ja pehmeytensä vuoksi. Alkalointi nostaa veden pH-arvoa ja menetelmästä riippuen myös alkaliteetti ja kovuus nousevat hiilidioksidin määrään vähentyessä. Veden laatu riippuu käytetystä alkalointimenetelmästä ja pH:n tavoitearvosta. Joissain tapauksissa veden hiilidioksidipitoisuutta joudutaan pienentämään ilmastamalla ennen alkalointia. Alkaloinnissa tulee pyrkiä melko stabiiliin pH-arvoon verkostokorroosion estämiseksi. (Pohjavesilaitosten kehittäminen 1997, 37.)

Veden sisältämällä hiilidioksidilla on keskeinen merkitys alkaloinnissa. Veden kokonaishiilidioksidipitoisuus koostuu vapaasta hiilidioksidista (CO_2) sekä sidotusta hiilidioksidista. Sidottu hiilidioksidi tarkoittaa veden sisältämän bikarbonaatin (HCO_3^-) ja karbonaatin (CO_3^{2-}) kokonaismäärää. Veden pH-määrittelee hiilidioksidin, bikarbonaatin ja karbonaatin suhteelliset osuudet vedessä, kuten kuvassa 4 on esitetty. (Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 4.)



KUVA 4. Veden vapaan hiilidioksidin, bikarbonaatin ja karbonaatin suhteellisten osuuksien riippuvuus veden pH-arvosta (Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 4, kuva 1)

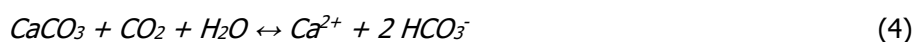
Veden alkalointi toteutetaan yleensä lisäämällä veteen emästä eli alkalointikemikaalia. Vesilaitoksilla yleisesti käytettyjä kemikaaleja ovat (Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 4):

- lipeä (natriumhydroksidi)
- sammutettu kalkki (kalsiumhydroksidi)
- poltettu kalkki (kalsiumoksidi)
- kalkkikivi (kalsiumkarbonaatti).

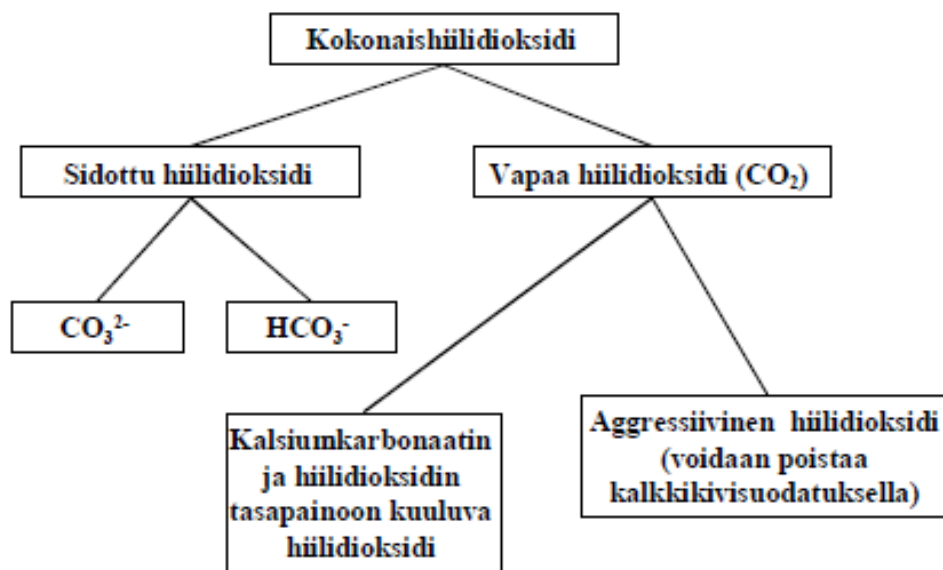
3.1 Kalkkikivialkalointi

Kalkkikivialkalointia on käytetty Suomessa jo useita vuosia vesilaitosmittakaavassa ja ensimmäiset laitokset rakennettiin maahamme 1980-luvulla. Kalkkikivialkalointi löi itsensä lopullisesti läpi 1990-luvun aikana ja 2000-luvulla sitä käytettiin jo yli 100 vedenottamolla. Käsittelyn hyviä puolia ovat turvallisuus, helppohoitoisuus ja toimintavarmuus, eikä siinä ole yliannostuksen vaaraa. Haittapuolena on korkea investointikustannus lähinnä kilpaileviin menetelmiin eli lipeän ja soodan syöttöön verrattuna, mutta kalkkikivialkaloinnin käyttökustannukset ovat edulliset. Lisäksi kalkkikivialkalointi lisää veden kovuutta toisin kuin alkalointi soodalla tai lipeällä. (Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 1.)

Kalkkikiven eli kalsiumkarbonaatin kemiallinen reaktio veden kanssa tapahtuu, kun se muuttuu veden ja hiilidioksidin kanssa kalsium-ioneiksi ja vetykarbonaatiksi seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:



Kalsiumkarbonaattia liukenee, kun reaktio etenee vasemmalta oikealle. Tällöin siis veden kalsium- ja bikarbonaattipitoisuus nousee ja hiilidioksidipitoisuus laskee. Kun reaktio etenee vastakkaiseen suuntaan, kalsiumkarbonaattia saostuu ja kalsium- ja bikarbonaattipitoisuudet vastaavasti pienenevät. Tasapainotilassa liukeneminen ja saostuminen tapahtuvat yhtä nopeasti ja vesi on kalkki-hiilidioksiditasapainossa. Vapaa hiilidioksidi muodostuu kalkki-hiilidioksiditasapainoon kuuluvasta hiilidioksidista ja aggressiivisesta hiilidioksidista. Kalkkikivialkaloinnilla voidaan poistaa vain aggressiivista hiilidioksidia, eikä veden pH ei voi nousta korkeammaksi, kuin hiilidioksidia on saatavilla. Veteen voi enimmillään siis liueta kalsiumkarbonaattia määrä, joka riippuu veden lämpötilasta, hiilidioksidipitoisuudesta sekä kalsium- ja bikarbonaattipitoisuudesta. Tästä seuraa, että jos vesi on pehmeää, sen hiilidioksidipitoisuus on pieni ja sen viipymä kalkkikivisuodattimessa on riittävän pitkä, raakaveden sisältämä hiilidioksidi muuttuu käytännössä täysin bikarbonaatiksi. Tällöin veden pH voi ylittää arvon 8,3 ja raakaveden sisältämä hiilidioksidi on ollut käytännössä pelkästään aggressiivista. Kovan veden kalsium- ja bikarbonaattipitoisuudet ovat korkeita ja veden vapaa hiilidioksidi muuttuu vain osittain bikarbonaatiksi, koska raakaveden sisältämä bikarbonaatti puskuroi pH:n muutoksia. Tässä tapauksessa veden pH jää tasapainotilanteessa alle 8,3 ja veteen jää mittavia määriä kalkki-hiilidioksiditasapainoon kuuluvaa vapaata hiilidioksidia. Jos taas vesi on pehmeää, mutta sisältää paljon hiilidioksidia, voivat kalsium- ja bikarbonaattipitoisuudet kohota kalsiumkarbonaatin liukenemisen seurauksena niin suuriksi, että reaktiomasapainossa pH jää alle 8,3. Tällöinkin veteen jää mittavia määriä kalkki-hiilidioksiditasapainoon kuuluvaa vapaata hiilidioksidia. Hiilidioksidin esiintymismuodot vedessä on esitetty kuvassa 5. (Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 5–6.)



KUVA 5. Hiiliidioksidin esiintymismuodot vedessä (Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 6, kuva 2)

3.2 Mitoitus

Alkalointitulokseen vaikuttavia ominaisuuksia, jotka tulee ottaa huomioon mitoituksessa, ovat veden ominaisuudet, rouheen raekoko ja veden viipymä kalkkikivirouhekerroksessa eli aika, jonka vesi on kontaktissa kalkkikivirouheen kanssa. Tehollinen viipymä voidaan laskea kaavalla (Raassina ja Suokas 2001, 17):

$$\text{Tehollinen viipymä (min)} = \frac{\text{kalkkikivisuodattimen vesitilavuus (m}^3\text{)}}{\text{mitoitusvirtaama (} \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \text{)} \cdot 60 \text{ min}} \quad (5)$$

Tarvittava rouheen määrä riippuu veden kulutuksesta. Koska veden kulutus ei jakaannu tasaisesti koko vuorokaudelle, olisi hyvä käyttää mitoitusarvona suurempaa, kuin keskimääräinen vedenkulutus, jotta alkaloituminen olisi riittävää myös huippukulutuksen aikana. (Nordkalk 2005, 3–4.)

3.3 Kalkkikivialkaloinnin vaikutus veden syövyttävyyteen

Kalkkikivialkalointi nostaa veden kovuutta ja alkaliteettia neutraloitua hiiliidioksidipitoisuutta kohden eniten muihin alkalointimenetelmiin verrattuna. Kalkkikivialkaloinnilla ei yleensä saavuteta pH-arvoa 8,3, vaan se jää tavallisesti tasolle 7,5–8,0. Tällöin vastaavasti myös alkaliteetti ja kovuus jäävät pienemmiksi. pH:n tasaisena pysymisen ansiosta korroosion suhteenkin olosuhteet pysyvät stabiileina, mikä parantaa passivoivan suojakerroksen tiivistä verkostossa. Kalkkikivialkaloinnissa tulisi tavoitella suosituksen mukaista pH-arvoa (vähintään 7,5), jotta muutokset veden alkaliteettiin ja kovuuteen ja sitä kautta korroosiota vähentäviin ominaisuuksiin olisivat mahdollisimman suuret. Eri materiaalit reagoivat eri tavalla kalkkikivialkaloinnilla suoritettavaan korroosion estoon. Valuraudan, teräksen ja kuumasinkityn teräksen korroosiota voidaan hidastaa, mikäli vedestä saostuu korkean pH-arvon, alkali-

teetin ja kokonaiskovuuden ansiosta pintaa suojaava kalkkikerros. Jotta suojaava kalkkikerros muodostuisi, edellyttää se kuparipinnan kohdalla myös liuennutta happea ja rautapinnalle muodostumiseen hiilidioksidia. Kalkkikivialkaloinnilla ei ole todettu vaikutusta ruostumattoman teräksen korroosioon. Kalkkikivialkalointia ei siis voida pitää kaikille materiaaleille sopivana ratkaisuna korroosiolta suojaamiseen. (Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 9; Vanhanarkaus 2012, 9.)

3.4 Alkalointitehoon vaikuttavat ominaisuudet

Theseuksessa julkaistussa opinnäytetyössä (Rantala 2007) kuvataan, että kalkkikiven raekoko vaikuttaa alkalointitehoon siten, että mitä pienempi rae, sitä suurempi kontaktipinta-ala, ja reaktio tapahtuu nopeammin. Myös se vaikuttaa, onko rakeet rouhittua vai granuloitua alkalointimassaa. Hienompi aines reagoi tietysti tehokkaammin ja voidaan päästä lähemmäs tasapainotilan pH-arvoa. Veden viipymällä ja virtausnopeudella on myös väliä. Virtausnopeuden kasvu heikentää alkalointitulosta ja pidemmillä viipymäajoilla voidaan päästä parempiin alkalointituloksiin. Vanhanarkauksen (2012) pro gradu -työssä tuodaan esille myös, että kalkkikiven kerrospaksuus ja ikä vaikuttavat neutralointitulokseen. Kalkkikivirouhetta tulee huuhdella alkalointitehokkuuden ja muiden ominaisuuksien ylläpitämiseksi. Esimerkiksi rakeiden pinnalle saostunut rauta ja mangaani saattavat heikentää kalkkikiven alkalointitulosta.

Kalkkikivialkalointi soveltuu parhaiten vesille, joiden alkaliteetti on alle 0,8 mmol/l ja hiilidioksidipitoisuus on 10 – 15 mg/l. Jos hiilidioksidia on yli 20 mg/l, sitä on syytä vähentää ilmastamalla vettä ennen alkaloinnin suorittamista. Jos taas veden alkaliteetti on erittäin pieni (alle 0,3 mmol/l) ja vedessä on vain vähän hiilidioksidia (alle 5 mg/l), veden pH-arvo voi nousta jopa 9:ään tai yli. Jos veden pH on liian korkea kalkkikivialkaloinnin jälkeen, voidaan alkalointitehoa vähentää madaltamalla kalkkikivipattajaa, lisäämällä veteen jonkin verran hiilidioksidia, suurentamalla raekokoa tai johtamalla osa käsiteltäväksi aiotusta vedestä alkaloinnin ohi. (Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 13.)

3.5 Verkostokorroosio ja sen estäminen

Verkostokorroosiosta seuraa haitallisia vaikutuksia vedenjakelujärjestelmälle ja sen toiminnalle. Siitä aiheutuu kustannuksia verkostomateriaalin käyttöiän lyhentyessä vesihuoltolaitoksen ja kiinteistöjen verkostossa. Verkostokorroosio aiheuttaa saneeraustarpeen kasvua ja muutoksia veden laatuun. Veteen voi tulla rautaa tai kiinteistöjen sisäisissä verkostoissa kuparipitoisuudet voivat nousta metalliputkien yleisen syöpymisen seurauksena. Vesijohtoveden käsittelyllä ei kuitenkaan päästä metallien korroosion täydelliseen estymiseen. Pyrkimyksenä on siis saavuttaa sellaiset olosuhteet, joissa metallin pinnalle muodostuu mahdollisimman tiivis suojakerros. Hyvän suojakerroksen muodostumista edistäviä ominaisuuksia ovat sopiva pH, korkea bikarbonaattipitoisuus, sopivat virtausolosuhteet, riittävät kalsium- ja happipitoisuudet sekä alhainen lämpötila. (Vesijohtoveden laatu ja korroosio 1993, 13; Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 3.)

Vedelle voidaan laskea korroosioindeksi seuraavan yhtälön (6) mukaisesti. Arvon tulisi olla suurempi, kuin 1,5, jotta vesi ei aiheuttaisi korroosiota. Välttämättä talousvesi ei ole haitallisesti syövyttävää, vaikka korroosioindeksi olisikin alhaisempi, mutta tällöinkin olisi syytä harkita verkostomateriaalien seuranta korroosion varalta. (Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 8–9.)

$$\text{Korroosioindeksi} = \frac{\text{Alkaliteetti } \left(\frac{\text{mmol}}{\text{L}}\right)}{\frac{\text{SO}_4^{2-} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{48} + \frac{\text{Cl}^- \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{35,5}} \quad (6)$$

3.6 Hooverin nomogrammi

Janhusen (2017) määritelmä perustuu Niemelän ja Stendahlin (2009) teokseen *Vedenkäsittelyn käsikirja*. Määritelmän mukaan vedelle voidaan laskea pH-arvo, jossa vesi on kalkin suhteen tasapainossa. Arvo saadaan graafisesti Hooverin nomogrammin avulla, joka on esitetty liitteessä 2.

Nomogrammin käyttö:

1. Ruudukolta haetaan piste suolapitoisuuden ja lämpötilan perusteella.
2. Saadusta pisteestä piirretään vaakasuora viiva asteikolle 1.
3. Seuraavaksi piirretään suora viiva asteikon 1 arvosta kalsiumpitoisuuden arvoon asteikolle 3.
4. Apuviivalla 2 saadaan välitulos.
5. Seuraavaksi piirretään viiva apuviivan 2 pisteestä asteikon 5 pisteeseen HCO_3^- -pitoisuuteen.
6. 4-asteikolta voidaan lukea pH_s :n arvo.

Suureet:

Alkaliteetti (mmol/l)

Kalsiumkovuus (mg Ca/l)

Suolapitoisuus (likimäärin sähkönjohtavuus mS/m · 6,9)

Lämpötila (°C).

Kyllästysindeksi saadaan määritettyä todellisen pH:n ja asteikolta saadun pH_s :n erotuksen avulla siten, että positiivisen arvo tarkoittaa kalkin saostumista vedestä ja negatiivinen, että vesi liuottaa kalkkia. Nolla tarkoittaa, että liuos on kalkki-hiilidioksiditasapainossa. (Davis 2011, 4-34–4-35.)

4 YLÄ-SAVON VEDEN ISO-VALKEISEN POHJAVEDENOTTAMO

Ylä-Savon Vesi Oy on vuonna 2003 perustettu Ylä-Savon kuntien omistuksessa oleva tukkuvesiyhtiö, jonka tehtävänä on hyvälaatuisen talousveden tuotanto osakaskunnilleen. Osakaskuntina ovat Iisalmi (43,58 %), Lapinlahti (36,04 %), Kiuruvesi (11,04 %), Vieremä (4,72 %) ja Sonkajärvi (4,62 %). Talousveden hankinnan, käsittelyn ja toimittamisen lisäksi tehtäviin kuuluvat vedenlaadun tarkkailu koko toiminta-alueella, pohjavesien suojelu ja vesihuollon kehittäminen. Toiminta-alueen pinta-ala on 6 000 km². Vuonna 2017 asukasmäärä oli 47 378 ja vedenkulutus 4,9 miljoonaa m³. Yhtiön tuottamasta vedestä lähes kolmasosa menee elintarviketeollisuudelle ja myös karjatalouksien osuus vedenkulutuksesta on merkittävä. Raakavesi pumpataan Ylä-Savon Veden laitoksille pohjavedenottamoista, joita yhtiön toiminta-alueella on yhteensä 17. (Ylä-savonvesi.fi.)

4.1 Iso-Valkeisen pohjavedenottamo

Iso-Valkeisen pohjavedenottamo sijaitsee Lapinlahden Varpaisjärvellä Huuhkaja A:n pohjavesialueella, joka on tärkeä 1-luokan pohjavesialue. Huuhkajan pohjavesialueen antoisuus on 3 900 m³/d, kun pohjavedeksi imeytyy 60 % sadannasta. Huuhkaja A on eteläinen laaja delta-alue ja siihen liittyy myös pohjoinen syöttöharju Huuhkaja B, jotka muodostavat yhdessä Huuhkajan pohjavesialueen. Pohjavesialue on virtauskuvaltaan vettä ympäristöönsä purkava, ja pohjavedenpinta alueella on melko tasainen ja pohjavedet purkautuvat säteittäin soille ja Tiilikanjokeen. Kallionpinta on pohjavesialueella keskiosassa korkeammalla kuin muualla ja se vaikuttaa paikallisesti virtaussuuntiin. Harjun materiaali on karkeaa soravaltaista ja deltassa hiekkavaltaista. Kerrospaksuudet vaihtelevat 6–25 m välillä, mutta voidaan olettaa, että alueella on vieläkin syvempiä kerroksia. (Lapinlahden kunta 2013, 3.)

Iso-Valkeiselta pumpataan vettä Jumisen seudun vesiosuuskuntaan 160 m³ päivittäin. Sähköpostikeskustelun perusteella vesiosuuskunnan liittyjämäärä on 296 kappaletta, joista osa vapaa-ajan asukkaita. Käyttäjämäärä on arviolta noin 360 henkilöä. Suurin osa vedestä menee kotitalouksien ja eläintilojen käyttöön, ja pieni osa teollisuuteen. Kuvassa 6 on esitetty Iso-Valkeisen vedenottamon mitauskaivorakennus ja varavoimakoneen rakennus. (Iso-Valkeisen vedenottamon vedenkäyttäjät 2018-02-23–2018-02-26).



KUVA 6. Mittauskaivorakennus vasemmalla ja varavoimakoneen rakennus oikealla (Pyyny 2018-03-27)

4.1.1 Ottamon ominaisuustiedot ja varustelu

Pohjavedenottamolla on halkaisijaltaan 3 metriä ja syvyydeltään 5,5 metrin korkuinen kuilukaivo, joka sijaitsee aidatulla alueella. Näytteet otetaan vedenottamolta lähtevästä vedestä, koska raakavesinäytettä ei pystytä erikseen ottamaan kaivossa olevan kalkkikivirouheen vuoksi. Vuonna 2012 kaivolle on tehty puhdistus- ja saumaustyöt. Samalla kaivon pohjalle on laitettu uunipoltettua suodatinhiekkaa raekooltaan 1 mm yhteensä 600 kg. Kaivoon on lisätty myös raekooltaan 2–5 mm kalkkikivirouhetta yhteensä 800 kg. Pohjalla on siis 20 cm kalkkikivirouhekerros. Kaivossa on kolme pumppua, joista kaksi aina yhtä aikaa toiminnassa. Kuvassa 7 on mittauskaivorakennus sisältäpäin. Vedenottamolla on myös kiinteä varavoimakone. (Lapinlahden kunta 2013, 4; Pyyny 2018-01-30).



KUVA 7. Mittauskaivorakennus sisältä (Korhonen 2018-03-27)

4.1.2 Veden laatutiedot aiempien näytteiden perusteella

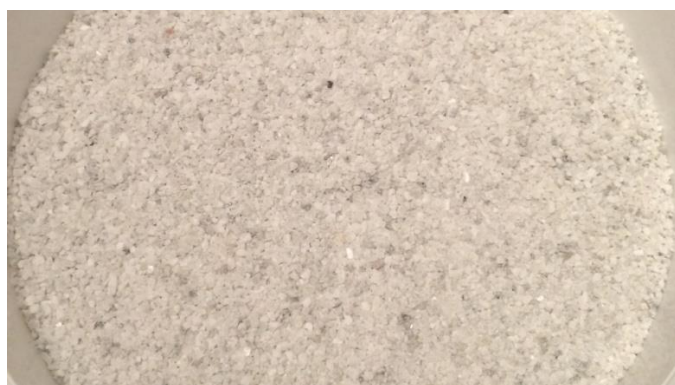
Vuosina 2000–2002 otettujen viiden näytteenottokerran perusteella raakaveden pH:n keskiarvo on ollut 6,8 ja kloridin 2,4 mg/l. Vuosina 2006–2017 valvontatutkimusohjelman mukaan otettujen näytteiden perusteella Iso-Valkeisen vedenottamon vesi on laadultaan muuten hyvää, paitsi se on melko hapanta (pH keskimäärin 6,9) ja alkaliteetti on alhainen (keskiarvo 0,35 mmol/l). Sosiaali- ja terveysministeriön talousvesiasetuksen laatuvaatimusten ja suositusten mukaan vesi on kuitenkin laadultaan hyvää. Veden kovuus on keskimäärin ollut 1,7 °dH/0,29 mmol/l eli vesi on myös erittäin pehmeää. Vuonna 2006 vesi sai korroosioindeksillä arvon 6,04 eli se ei ole lainkaan syövyttävää indeksin mukaan. Tuolloin myös sähkönjohtokyky on ollut suurimmillaan. Sähkönjohtokykyä ominaisuutena voisi siis käyttää kalkkikivialkaloinnin toimivuuden seuraamiseen jatkuvatoimisesti. Kaivoon on viimeksi lisätty kalkkikivirouhetta kesällä 2012, mikä näkyy myös näytteenoton tuloksissa pH:n ja alkaliteetin lievänä nousuna vuoden 2012 jälkeen. Hiilidioksidipitoisuus on ollut matalimmillaan (<2 mg/l) kalkkikiven lisäyksen jälkeen, samoin kuin vuonna 2006, jolloin veden pH-arvokin on ollut korkeimmillaan (8,1). Korroosioindeksi on vuoden 2006 jälkeen ylittänyt arvon 1,5, joka on Suomen Vesilaitosyhdistyksen vähimmäissuositus, vuosina 2010, 2012 ja 2013. Viimeksi 2016 vuonna mitattujen alkaliteetti-, kloridi- ja sulfaattiarvojen perusteella korroosioindeksin arvo jäi hiukan alle suosituksen, 1,4:ään. Ongelmia Iso-Valkeisen vedenottamolla ovat siis veden happamuus, alhainen alkaliteetti ja pehmeys. Nämä ominaisuudet voivat altistaa korroosiolle verkostossa. Ottamon näytetuloksissa ei ole todettu kolibakteereita, E. colia tai enterokokkeja. Heterotrofinen pesäkeluku on ollut yleensä nolla tai ainakin hyvin alhainen (kokonaisbakteerit korkeintaan 2 pmy/ml). Ottamolle kannattaisi harkita desinfioinnin käyttöönottoa. (Lapinlahden kunta 2013, 5; Pyyny 2018-01-30.)

5 KOKEELLINEN OSA

Kokeiden tarkoituksena oli osoittaa, miten eri raekoon omaavat kalkkikivirouheet ja eri viipymät vaikuttavat Iso-Valkeisen ottamon veden ominaisuuksiin. Pohjavedenottamalla viimeksi käytössä olleella 2–5 mm raekokojakaumalla kokeiltiin alkalointitehokkuutta eri viipymillä. Pienemmän raekokojakauman omaavaa 1–3 mm rouhetta testattiin koko ajan samalla tehollisella viipymällä, kuin kaivossa tällä hetkellä. Tuloksista nähdään, vaikuttaako pienemmän raekoon kalkkikivi lyhyemmällä tehollisella viipymällä enemmän alkalointitehokkuuteen, kuin suuremman raekoon kalkkikivi. Lisäksi tutkittiin, miten tulokset eroavat käytettäessä samaa tehollista viipymää. Tärkeimmät veden laadusta seurattavat ominaisuudet olivat lämpötila, pH, alkaliteetti, kovuus ja kalsiumpitoisuus. Myös sähkönjohtavuutta, sameutta, kloridi- ja sulfaattipitoisuutta tutkittiin mielenkiinnon vuoksi ja jotta nähtäisiin, onko kalkkialkaloinnilla vaikutusta korroosioindeksiin ja kyllästysindeksiin.

5.1 Koejärjestelyt

Koeajoihin tarvittavaa näytevettä haettiin Varpaisjärveltä Iso-Valkeisin vedenottamolta 27.3.2018 noin 800 litraa. Vesi otettiin mittauskaivorakennuksen näytteenottohanasta letkulla pakettiauton lavalla olevaan kuljetuskonttiin. Koeajoja tehtiin kahdella eri raekoolla samaa laitteistoa käyttäen Savonia-ammattikorkeakoulun vesilaboratoriossa 28.3.2018 ja 29.3.2018. Suodatinkolonne sijoitettiin kylmähuoneeseen ja vesikontti hallin puolelle huoneenlämpöön. Suodattimen täytteenä käytettiin Nordkalkin Filtra A1 (kuva 8) ja A2-kalkkikivirouheita (kuva 9). A1:n raekokojakauma on 1–3 mm ja A2:n 2–5 mm.



KUVA 8. Nordkalk Filtra A1 (Korhonen 2018-03-29)



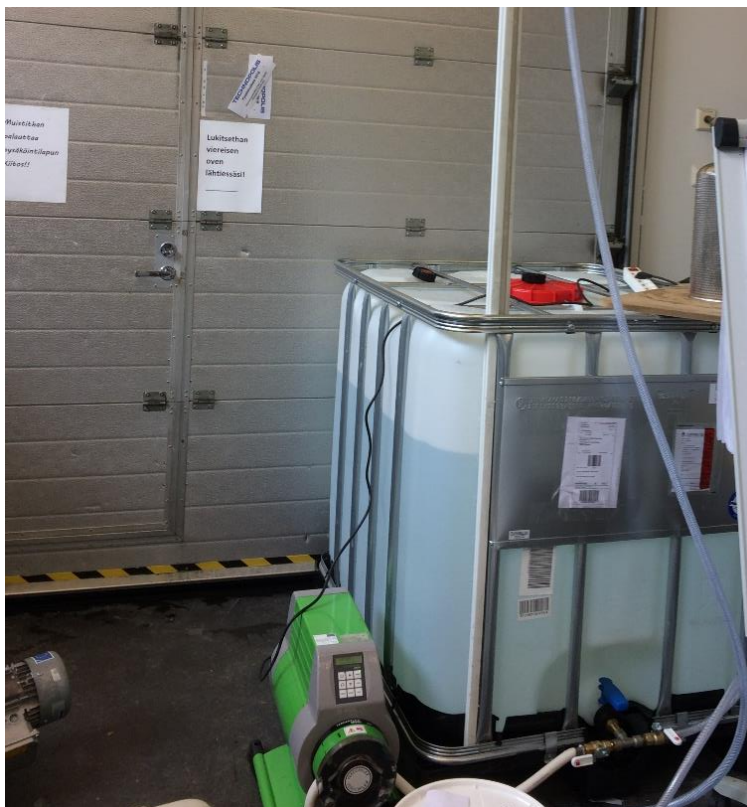
KUVA 9. Nordkalk Filtra A2 (Korhonen 2018-03-28)

Suodatin täytettiin vuorollaan kummallakin rouhelaadulla. Syöttövetenä käytettiin Iso-Valkeisen vedenottamolta 27.3.2018 haettua pohjavettä, jonka kontti on kuvassa 11 ja kuvassa näkyy myös ko-
keessa käytetty pumppu. Kuvassa 10 on koelaitteistona toiminut suodatinkolonne. Vesi johdettiin kyl-
mähuoneeseen yläkautta johtoon kompastumisen estämiseksi, kuten kuvasta 12 nähdään. Suodatti-
messa vesi laitettiin menemään alhaalta ylös, kuten se kaivossakin menisi. Tällä tavalla myös estetään
hiilidioksidin poistuminen ennen kalkkikivialkalointia, ja saadaan parempi näkemys alkaloinnin tehok-
kuudesta. (Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 19).

Lisäksi A2-rouhelaadulla kokeiltiin alkalointitehokkuutta sekoittamalla astiassa olevaa kalkkikivi-
rouhetta, joka on kuvassa 13, manuaalisesti noin 10 minuutin välein. Rouhetta oli 10 litran astiassa 4
desilitraa. Määrä suhteutettiin astian kokoon nähden samalla tavoin, kuin Iso-Valkeisen kaivossa on
kalkkikiveä. Analysoinnit lopetettiin, koska jo 20 minuutin jälkeen pH oli noussut suurimpaan mahdol-
liseen arvoon eli 8,7:ään, joka kalkkikivialkaloinnilla pystytään saavuttamaan. Tarkoituksena oli ha-
vainnollistaa, miten sekoituksella pystytään vaikuttamaan kalkkikiven alkaloinnin tehoon, jos rouheen
kuorettuminen kaivossa on ongelmana.



KUVA 10. Suodatinkolonne (Korhonen 2018-03-29)



KUVA 11. Näyteveden kontti ja pumppu (Korhonen 2018-03-28)



KUVA 12. Kontilta suodattimelle menevä putki (Korhonen 2018-03-28)



KUVA 13. Sekoitusastia A2-rouheelle (Korhonen 2018-03-28)

Suodatinpedin korkeudeksi määritettiin 1,0 m Kalkkikivialkalointioppaan ohjeiden perusteella. Laskennallinen viipymä saatiin laskettua tyhjän vedettömän suodatinpedin tilavuuden ja virtauksen suhteena:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (7)$$

, missä

t = viipymä, h

V = suodatinpedin tilavuus, m³

Q = virtaus, m³/h.

Kun suodatinkerroksen korkeus on päätetty, voidaan suodatinpedin tilavuus V laskea kaavalla:

$$V = \pi r^2 h \quad (8)$$

, missä

r = suodattimen säde, m

H = suodattimen korkeus, m.

Kalkkikiven tilavuudeksi suodattimessa saatiin siis 20 litraa. Suodatin tehtiin 160 mm halkaisijaltaan olevasta viemäriputkesta, ja tavoitteena oli pienimmillään 12 minuutin laskennallinen eli 5 minuutin tehollinen viipymä, jolla huomioidaan kuinka kauan vesi reagoi kalkkikiven kanssa. Kaivossa oleva tehollinen viipymä on 5 minuuttia, joka on aivan liian vähän alkaloinnin kannalta Kalkkikivialkalointioppaan mukaan. Koeajoissa myös muita viipymiä käytettiin nykyisin kaivossa käytössä olevalla A2-rouheella. Viipymän arvoina kokeiltiin 12, 20, 30, 40 ja 60 minuuttia, jonka vesi on siis koko rouhetilavuudessa. Tehollisina viipyminä nämä tarkoittavat 5, 8, 12, 16 ja 24 minuuttia, sillä laskennallinen koko rouhetilavuus kerrottiin kalkkikiven väliin jäävien ilmataskujen osuudella eli huokoisuusluvulla

0,4 (Nordkalk 2005, 3). A1-rouheella, jota pohjavedenottamolla ei ole käytetty, taas viipymänä koeajossa käytettiin koko ajan 5 minuutin tehollista viipymää ja näytteet otettiin 30 min, 1 h, 2 h, 3 h ja 4 h jälkeen.

Ennen näytteenoton aloitusta molemmissa kokeissa suodatinta huuhdeltiin noin puolen tunnin ajan ja tarkistettiin, että suodatettu vesi on kirkasta. Virtaama tarkistettiin 100 ml:n mittalasia ja sekuntikelloa apuna käyttäen suodattimen poistoputkesta. Vesi virtasi suodattimessa alhaalta ylös ja meni ylivuodon kautta poistoputkeen. Suodattimen alapäähän laitettiin kaksi erillistä suodatinverkkoa, rautaverkko ja ohuempi hyönteisverkko.

5.2 Näytteenotto

Näytevedenhakupäivänä 27.3.2018 otettiin myös kaivon pohjasta näyte, jotta nähtäisiin millaista viimeksi vuonna 2012 lisätty kalkkikivi on pohjassa (kuva 14). Kuvassa 15 näkyy otettu näyte. Kaikki kalkkikivi oli siis liuennut pois ja pelkkää hiekkaa oli jäljellä. Samalla otettiin hiilidioksidinäyte hiostul-palliseen lasipulloon, joka toimitettiin Savo-Karjalan Ympäristötutkimuksen laboratorioon analysoitavaksi. Savonian laboratoriossa näytteet otettiin suodatinkolonnin poistoputkesta ja sekoitusastiasta muovisiin litran pulloihin ja vietiin kylmähuoneeseen säilytykseen.



KUVA 14. Näytteenotto kaivon pohjasta (Pyyny 2018-03-27)



KUVA 15. Näyte kaivon pohjasta (Korhonen 2018-04-03)

5.3 Koeajojen suoritus ja analyysit

Laboratoriossa otetuista näytteistä analysoitiin heti pH ja lämpötila Savonia-ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Alkaliteetti ja kovuus analysoitiin saman päivän aikana. Sameus, sähkönjohtavuus, sulfaatti- ja kloridimääritykset tehtiin noin viikon päästä. Määrityksissä noudatettiin vastaavia SFS-standardia tai Savonian laboratorion omia ohjeita. Tämän opinnäytetyön kokeellisen osan kannalta oleelliset standardit, työohjeet ja laitteistot on koottu taulukkoon 1.

Näytteenotto A2-rouheelle suoritettiin sen jälkeen, kun suodattimen läpi oli mennyt ainakin kaksi kertaa tehollisen viipymän arvon verran vettä. Eli puolen tunnin suodattimen huuhtelun jälkeen otettiin 12 minuuttia ennen kuin otettiin 5 minuutin tehollisen viipymän näyte virtausnopeudella 100 l/h. Tämän jälkeen vaihdettiin virtaamaa arvoon 60 l/h ja 8 minuutin tehollisen viipymän näyte otettiin 20 minuutin jälkeen. Sitten virtaamaa muutettiin arvoon 40 l/h ja 12 minuutin tehollisen viipymän näyte otettiin puolen tunnin jälkeen. Viimeistä näytettä varten virtaama säädettiin arvoon 20 l/h, jolla vesi meni tunnin ajan suodattimen läpi, jonka jälkeen otettiin 24 minuutin tehollisen viipymän näyte. Pumpun alin mahdollinen säädettävissä oleva virtausnopeus oli 20 l/h.

TAULUKKO 1. Analyysien suorittamisessa noudatetut standardit, työohjeet ja laitteistot

Analyysi	Noudatettu standardi tai ohje	Laitteisto ja muut huomiot
pH	Käytetty lämpötilakompensoitua pH-mittaria.	Hach HQ 40d, kalibroitu pH-alueille 4-7 ja 7-10
Alkaliteetti	SFS 3005	Byretti, 20 mmol/l suolahappo, pH-anturi
Kovuus	Method 8030. Calcium and magnesium: Calmagite colorimetric method (0.05 to 4.00 mg/l Ca and Mg as CaCO ₃).	Hach Langen DR2800
Sähkönjohtavuus		Hach HQ 40d Conductivity
Sameus	Iso method 7027	Hach 2100N IS Turbidimeter
Kloridi	Method 8113. Chloride Mercuric Thiocyanate method (0.1 to 25.0 mg/l).	Hach Langen DR2800
Sulfaatti	Method 8051. SulfaVer4. Powder Pillows (2 to 70 mg/l).	Hach Langen DR2800
CO ₂ Asiditeetti	SFS 3005	*Savo-Karjalan Ympäristötutkimus

5.4 Tulokset

Alkaloinnin tavoitteena on muuttaa veden laatu sellaiseksi, että pH on yli 7,5, alkaliteetti 0,6 mmol/l, kalsiumpitoisuus yli 10 mg/l sekä korroosioindeksi yli 1,5. (Nordkalk.fi).

5.4.1 Raakavesi

Taulukon 2 perusteella raakaveden mitattu pH-arvo 7,2 ei ole kovin luotettava, koska vesi on ehtinyt lämmetä 9,6 °C:een ennen määrittystä. Viimeksi määritellyn näytteen perusteella vuonna 2017 pH on ollut 6,6 ja lämpötila 5,7 °C. Sameus 0,39 NTU on myös korkeampi aiemmin mitattuun näytteeseen 0,16 FNU nähden. Alkaliteetti 0,28 mmol/l on lähes samaa luokkaa viimeksi mitattuun 0,21 mmol/l verrattuna. Raakaveden kalsiumpitoisuus oli vain 6,4 mg/l ennen kalkkikivisuodatusta suodatinkolonnissa, kuten tuloksista taulukossa 3 havaitaan. Kovuus 0,21 mmol/l on lähes sama viimeksi mitattuun 0,18 mmol/l verrattuna. Kloridin arvossakaan ei ole tapahtunut radikaaleja muutoksia vuodesta 2016, nyt mitatussa vedessä sen määrä on 2,3 mg/l ja viimeisimmässä mittauksessa 2,2 mg/l. Sulfaattia oli nyt raakavedessä 4 mg/l ja aiemmin sitä on ollut 5,2 mg/l vuonna 2016 mitatussa näytteessä. Savo-Karjalan Ympäristötutkimuksen laboratoriossa määritetyt asiditeetti ja hiilidioksidi on esitetty taulukossa 4. Hiilidioksidin arvo 5,9 mg/l on hiukan korkeampi, kun viimeksi vuonna 2017 se on ollut 5,1

mg/l. Asiditeettikin 0,13 mmol/l on lähes sama aiempaan 0,12 mmol/l verrattuna. Näiden määritysten perusteella raakavesi on siis hyvin pehmeää ja korroosioindeksi on 1,89. Ainoastaan korroosioindeksin osalta Nordkalkin suositukset alkaloinnilla saavutettiin. Tämä pitääkin hyvin paikkansa, koska kaikki kalkkikivi oli hävinnyt kaivon pohjasta ja jäljellä oli enää vain hiekkaa.

TAULUKKO 2. Raakaveden pH, sameus, sähkönjohtavuus ja alkaliteetti -tulokset

pvm	Lämpötila °C	pH	Sameus NTU	Sähkönjohtavuus µS/cm	Alkaliteetti mmol/l
28.3.2018	9.6	7.2	0.388	57.2	0.28

TAULUKKO 3. Raakaveden kalsium, kovuus, kloridi ja sulfaatti -tulokset

pvm	Kalsium mg/l	Kovuus mmol/l	Kloridi mg/l	Sulfaatti mg/l
29.3.2018	6.4	0.21	2.3	4

TAULUKKO 4. Raakaveden asiditeetti ja hiilidioksidi -tulokset (Savo-Karjalan Ympäristötutkimus)

pvm	Lämpötila °C	Asiditeetti mmol/l	Hiilidioksidi mg/l
28.3.2018	6	0.13	5.9

5.4.2 A2-rouheella suodatettu vesi

A2-rouheella suodatetun veden virtaamaa muutettiin aina tietyn ajan jakson jälkeen, jotta nähtäisiin, miten veden pidempi viipymäaika suodattimessa vaikuttaa tuloksiin. Taulukosta 5 nähdään eri virtaamilla suodatetun veden pH:n muutos. Tuloksista voidaan todeta, että ainakin pH-arvo on noussut ja ero on lähes yhden pH-yksikön verran, samalla kun veden tehollinen viipymä suodattimessa on vaihtunut 5 minuutista 24 minuuttiin. Toisaalta myös veden lämpötila on noussut ja silläkin on vaikutusta tulokseen. Taulukon 6 mukaan veden alkaliteetti on noussut myös arvosta 0,52 mmol/l arvoon 0,8 mmol/l, kun raakavedellä se oli vain 0,28 mmol/l. Myös kalsiumpitoisuus on ollut korkeampi suodatuksen jälkeen, mutta pidemmän viipymän ja kalsiumpitoisuuden nousun välillä ei ainakaan tässä tapauksessa nähdä yhteyttä. Kovuuden arvossakaan ei nähdä selkeää kaavaa, mutta se on vähintäänkin kaksinkertaistunut arvoon 0,40 mmol/l jokaisella eri viipymällä alkuperäiseen raakaveden arvoon 0,21 mmol/l suhteutettuna. Taulukon 7 mukaan sameuden arvo ei paljoa muutu suodatuksen edetessä eri viipymillä ja se on jopa alhaisempi, kuin raakavedestä määritetty. Sähkönjohtavuus on kuitenkin noussut raakaveden arvosta 57,2 µS/cm keskimäärin arvoon 90 µS/cm. Taulukosta 8 nähdään, että kloridi- ja sulfaattipitoisuudet eivät juuri muutu kalkkikivisuodatuksessa. Nordkalkin suositukset alkaloinnilla saatavasta vedenlaadusta siis toteutuvat muiden, kuin 5 minuutin viipymän alkaliteetin (0,52 mmol/l) osalta. Myös pH on juuri ja juuri yli suositellun arvon. Korroosioindeksit ovat 5 minuutin viipymällä 3,96 ja 24 minuutin viipymällä 6,52 eli ne ylittävät selvästi Nordkalkin suosituksen.

TAULUKKO 5. A2-rouheella suodatetun veden pH

Tehollinen viipymä, min	pvm	Lämpötila °C	pH
5	28.3.2018	10.5	7.6
8	28.3.2018	9.9	8.39
12	28.3.2018	10.5	8.59
16	28.3.2018	11.2	8.65
24	28.3.2018	12.3	8.62

TAULUKKO 6. A2-rouheella suodatetun veden alkaliteetti, kalsium ja kovuus -tulokset

Tehollinen viipymä, min	pvm	Alkaliteetti mmol/l	Kalsium mg/l	Kovuus mmol/l
5	28.3.2018	0.52	16.1	0.48
8	28.3.2018	0.68	13.9	0.40
16	28.3.2018		22.9	0.67
16	29.3.2018	0.68		
24	28.3.2018	0.8	14.6	0.48

TAULUKKO 7. A2-rouheella suodatetun veden sameus ja sähkönjohtavuus -tulokset

Tehollinen viipymä, min	pvm	Lämpötila °C	Sameus NTU	Sähkönjohtavuus µS/cm
5	3.4.2018	14.3	0.23	90.2
12	3.4.2018	13.8	0.31	88.7
16	3.4.2018	14.5	0.22	89.6

TAULUKKO 8. A2-rouheella suodatetun veden kloridi- ja sulfaattipitoisuudet

Tehollinen viipymä, min	pvm	Kloridi mg/l	Sulfaatti mg/l
5	3.4.2018	1.7	4
24	3.4.2018	1.4	4

Sekoitusastian tulosten perusteella, jotka on esitetty taulukossa 9, pH on noussut todella äkkiä kalkikivialkaloinnilla saavutettavaan maksimiarvoonsa eli 8,7:ään. Sähkönjohtavuus on samalla tasolla, kuin suodatinkolonissakin, mutta sameus nousi hyvin korkeaksi odotetusti ensimmäisessä mittauksessa, joten sameuden mittauksia ei enää jatkettu. Näytteenotto lopetettiin kolmannen näytteen jälkeen saavutetun maksimialkalointituloksen (pH 8,78) vuoksi.

TAULUKKO 9. Sekoitusastian tulokset

Aika, min	pvm	Lämpötila °C	pH	Sameus NTU	Sähkönjohtavuus µS/cm
12	28.3.2018	10.4	8.3	154	92.5
20	28.3.2018	10	8.74		91.1
30	28.3.2018	10.2	8.78		95.5

5.4.3 A1-rouheella suodatettu vesi

A1-rouheen läpi suodatetussa vedessä noudatettiin koko ajan samaa virtaamaa 100 l/h eli vesi oli kalkkikiven kanssa kontaktissa 5 minuuttia kuten kaivossakin. Mittauksia suoritettiin tunnin välein. Puolen tunnin jälkeen suoritettu näytteenotto jätettiin pois tuloksista, koska vesi oli sameaa vielä siinä vaiheessa ja se saattaa vaikuttaa tuloksiin häiritsevästi. Taulukon 10 perusteella veden pH ei noussut tasaisesti, mutta on kuitenkin yleisesti korkeampi, kuin raakavedellä ja keskimäärin 8,12. Taulukosta 11 nähdään, että alkaliteetti on lähes kolme kertaa korkeampi joka ajanhetkellä, kuin raakavedellä eli keskimäärin 0,85 mmol/l. Kalsiumpitoisuus pysyi koko ajan suunnilleen samana (13 mg/l), joka on kaksinkertainen raakaveden kalsiumpitoisuuteen nähden. Kovuus pysyi myös samana (0,38 mmol/l), joka on lähes kaksinkertainen raakaveden vastaavaan arvoon nähden. Taulukossa 12 on esitetty A1-rouheen läpi menneen veden sameus-, sähkönjohtavuus-, kloridi- ja sulfaattiarvot. Sameus on lähes sama, kuin raakavedellä. Sähkönjohtavuus on keskimäärin 90 µS/cm, eli se on muuttunut merkittävästi. Kloridi- ja sulfaattipitoisuudet eivät muuttuneet yhtään tässä käsitellyssä. A1-rouheella suoritettun alkaloinnin seurauksena kaikki Nordkalkin suositukset täytettiin. Korroosioindeksi oli tunnin jälkeen 7,64 ja kolmen tunnin jälkeen 6,52 eli nekin olivat selvästi yli suositellun 1,5:n vähimmäisarvon.

TAULUKKO 10. A1-rouheella suodatetun veden pH-tulokset

Aika, h	pvm	Lämpötila °C	pH
1	29.3.2018	13.4	8.65
2	29.3.2018	16.8	7.5
3	29.3.2018	14.9	8.12
4	29.3.2018	17	8.22
Keskiarvo		15.5	8.12

TAULUKKO 11. A1-rouheella suodatetun veden alkaliteetti, kalsium ja kovuus -tulokset

Aika, h	pvm	Alkaliteetti mmol/l	Kalsium mg/l	Kovuus mmol/l
1	29.3.2018	0.96	13.4	0.38
2	29.3.2018	0.76	13.3	0.38
3	29.3.2018	0.8	13.1	0.38
4	29.3.2018	0.88	13.5	0.37
Keskiarvo		0.85	13.3	0.38

TAULUKKO 12. A1-rouheella suodatetun veden sameus, sähkönjohtavuus, kloridi ja sulfaatti -tulokset

Aika, h	pvm	Lämpötila °C	Sameus NTU	Sähkönjohtavuus µS/cm	Kloridi mg/l	Sulfaatti mg/l
1	3.4.2018	14.9	0.278	90.9	1.5	4
3	3.4.2018	14.8	0.237	91.4	1.4	4
4	3.4.2018	16.3	0.279	88.9	1.4	
Keskiarvo		15.3	0.265	90.4	1.4	4

5.4.4 Tulosten analysointi

A1-rouheella (1–3 mm) ja 5 minuutin tehollisella viipymällä päästiin keskimäärin pH-arvoon 8,12 neljän mittauksen perusteella. Arvo on oikeaa tilannetta korkeampi, sillä veden lämpötila oli ehtinyt nousta. A2-rouheella (2–5 mm) 5 minuutin tehollisella viipymällä saavutettiin pH-arvo 7,6, joka on myös oikeaa kaivon tilannetta korkeampi. Kalkkikivialkalointioppaan mukaan esimerkiksi 2–4 mm:n rouheella päästäisiin 5 minuutin tehollisella viipymällä pH-arvoon 6,9. A2-rouheen tehollisilla viipymillä 8–24 minuuttia ei ole suuria eroja pH:n kohdalla. Mutta raakaveden alkuperäiseen pH-arvoon 7,2 suhteutettuna kalkkikivisuodatus on parantanut veden laatua näytteenottojen perusteella. Eli suodatuksella saatiin nostettua raakaveden pH-arvoa, alkaliteettia, kovuutta ja kalsiumpitoisuutta suositusten mukaisiksi (0,6 mmol/l) muuten paitsi alkaliteetin osalta jäätiin A2-rouheella 5 minuutin tehollisella viipymällä hiukan alapuolelle (0,52 mmol/l). Tehokkaimmin alkalointi tapahtui A1-rouheen läpi ja A2-rouheella pidemmillä tehollisilla viipymillä eli 8–24 minuuttia. Kalkkikivialkalointioppaan mukaan Nordkalkin suosittelema vähimmäis-pH 7,5 saavutettaisiin 2–4 mm:n rouheella 15 minuutin tehollisella viipymällä. A1-rouheelle riittäisi siis lyhyempi aika pienemmän raekoon takia, mutta toisaalta voisi olla parempi varmuuden vuoksi järjestää pidempi tehollinen viipymä kaivossa, jotta veden laatu paranisi riittävästi. A2-rouhe taas vaatisi pidemmän tehollisen viipymän, eli kokeiden perusteella vähintään 8 minuuttia. Käytännössä tämä tarkoittaisi kuitenkin enemmän kuin 15 minuuttia eli vähintäänkin 20 minuuttia koejärjestelyissä käytetyn veden korkeamman lämpötilan vuoksi.

5.5 Koejärjestelyiden kehityskohteita

Kokeet suoritettiin tiukalla aikataululla, jotta suodatettavan raakaveden laatu pysyisi mahdollisimman oikeaa tilannetta kuvaavana. Näytevesikontti oli sijoitettu huoneenlämpöön, joten veden lämpötila nousi kokeen edetessä. Kontin yhteyteen oli suunniteltu jäähdytintä, mutta se olisi ollut hankala järjestää, koska systeemi olisi ollut avoin ja se olisi näin ollen jäähdyttänyt myös laboratoriotilan huoneilmaa. Eri viipymien alkalointitehokkuuksista voitaisiin saada parempaa tietoa, jos suodatettava vesi ehtisi mennä useampaan kertaan suodattimen läpi samalla tehollisella viipymällä, jotta kaikki vesi olisi tämän tutkittavan viipymän aikaista. Lähtökohtaisesti saaduista tuloksista nähdään kuitenkin, että mitä pidempi viipymä, sitä parempi alkalointitehokkuus. Hooverin nomogrammin avulla määriteltynä kalkkikivelläkin käsitelty vesi oli kalkkia liuottavaa, joten kokeissa voisi testata hiilidioksidin syöttöä veteen ennen alkalointia, jotta veden laatu saataisiin sellaiseksi, että se ennemminkin saostaisi vähän kalkkia kuin syövyttäisi sitä vedestä. Eli veden suuremmasta hiilidioksidimäärästä johtuen suurempi määrä muuttuisi bikarbonaateiksi ja tämän seurauksena pH ja alkaliteetti nousisivat korkeammiksi. Näin voitaisiin suojata putkistoja paremmin verkostokorroosiolta, kun suojaava kalkkikerros saostuisi putken pinnalle.

Tehollisten viipymien määrittämisissä ei otettu huomioon kalkkikiven raekokojakaumaa, joten tulokset ovat suuntaa antavia. Tarkempia määrittäyksiä varten tämä tulisi ottaa huomioon. Eli mitä suurempi raekoko, sitä enemmän rakeiden väliin jääviin ilmahuokosiin mahtuu vettä ja suodattimen tehollinen

viipymä saataisiin määritettyä rouhekokokohtaisesti. Nyt määrittämissä käytettiin kirjallisuudesta saatua arvoa. Rouheelle ominainen huokosluku n voidaan määrittää seuraavan yhtälön avulla (Airaksinen 1978, 41):

$$n = S_y + S_r \quad (9)$$

, missä

S_y = Ominaisantoisuus on vesimäärä, joka keskimäärin poistuu alkuperäisen ja alennetun vedenpinnan välillä olevan kalkkikivirouhekerroksen tilavuusyksiköstä, kun vedenpintaa alennetaan yhden pituusyksikön verran.

S_r = Ominaispidättyminen tarkoittaa vesimäärää, joka vastaavasti jää kalkkikivirouheeseen vastoin painovoiman vaikutusta. Ominaisantoisuus ja -pidättyminen ilmoitetaan usein tilavuusprosentteina, kuten huokoisuuskin.

Ominaisantoisuutta ja -pidättyvyyttä voisi testata laboratoriossa ajamalla suodattimen läpi tietyn määrän vettä ja mittaamalla suodattimesta poistuvan ja suodattimeen jäävän veden määrän. Näin voitaisiin saada selville, miten paljon kalkkikivi pidättää itseensä vettä ja päästää vettä läpi. Tehollisen viipymän arvolle saataisiin nämä tiedot huomioiden määritettyä rouhekohtainen luku.

Kalkkikivisuodatuksen jälkeen kloridi- ja sulfaattiarvot pysyivät lähes vakioina, joten jatkossa näitä ei tarvitsisi määrittää kokeissa. Myöskään sameuden arvossa ei nähty suurta muutosta. Sähkönjohtavuus muuttui selkeästi käsittelyn jälkeen, joten se olisi myös hyvä prosessin toimivuuden seuraamisen mittari. Näytteenotossa alkaloinnin toimivuuden kannalta kannattaa keskittyä määrittämään kalsiumpitoisuus, pH, alkaliteetti, hiilidioksidipitoisuus ja lämpötila. (Kalkkikivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 20).

Raakaveden hiilidioksidipitoisuus on melko alhainen (5,9 mg/l), joten laboratoriokokeissa voisi harkita myös hiilidioksidin syöttöä esimerkiksi ennen suodatusta, jotta nähtäisiin miten se vaikuttaa veden kovuuden ja alkaliteetin määrään. Sen seurauksena myös veden kyllästysindeksi voisi mennä positiiviselle puolelle eli vedestä saostuisi kalkkia alkaliteetin noustessa. Kalkkikivialkalointi tarvitsee kuitenkin toimiakseen myös riittävästi hiilidioksidia, joka neutraloituu bikarbonaatiksi.

6 KÄSITTELYPROSESSIN TEHOSTUSTARPEET JA ISO-VALKEISEN VEDENOTTAMOLLE SUOSITELLUT RATKAISUT

Jumisen seudun vesiosuuskunnan vedenhankinnan turvaamiseksi ja kehittämiseksi on vertailtu kahta erilaista kehittämisvaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa kalkkikivisuodatus jatkettaisiin kaivon pohjalla tapahtuvana alkaloinnilla kalkkikivirouheella. Toisessa vaihtoehdossa pohditaan painesuodatuksen rakentamisen mahdollisuutta vedenottamolle.

6.1 Nykyinen vedenkäsittelyprosessi

Nykyisenä vedenkäsittelynä on kalkkikivikerros kaivon pohjalla. Se käy menetelmäksi, kun vedessä ei ole paljon rautaa tai mangaania, sillä ne saattavat saostua helposti kalkkikiven pinnalle ja näin estää alkaloitumisen. (Nordkalk 2005, 4).

Kaivoon on viimeksi vuonna 2012 lisätty 800 kg raekooltaan 2–5 mm kalkkikivirouhetta 20 cm:n kerroksen verran eli 1,4 m³. Tällä mitoituksella on siis päästy tehollisen viipymään 5 minuuttia. Kalkkivialkalointioppaan mukaan 15–20 minuuttia olisi sopiva tehollisen viipymän arvo 2–4 mm:n kalkkikivelle, kun hiilidioksidipitoisuus on alhainen (alle 5 mg/l) ja alkaliteetti alle 0,3 mmol/l. Vedenottamon virtaaman eli noin 6,7 m³/h perusteella tehollisen viipymän 15–20 minuuttia saavuttamiseksi tarvittaisiin 4–5,5 m³ kalkkikivirouhetta. Tämä tarkoittaisi 0,6–0,8 metrin kerrosta kalkkikiveä kaivon pohjalle. (Kalkkivialkalointi – opas veden syövyttävyyden vähentämiseksi 2002, 18.)

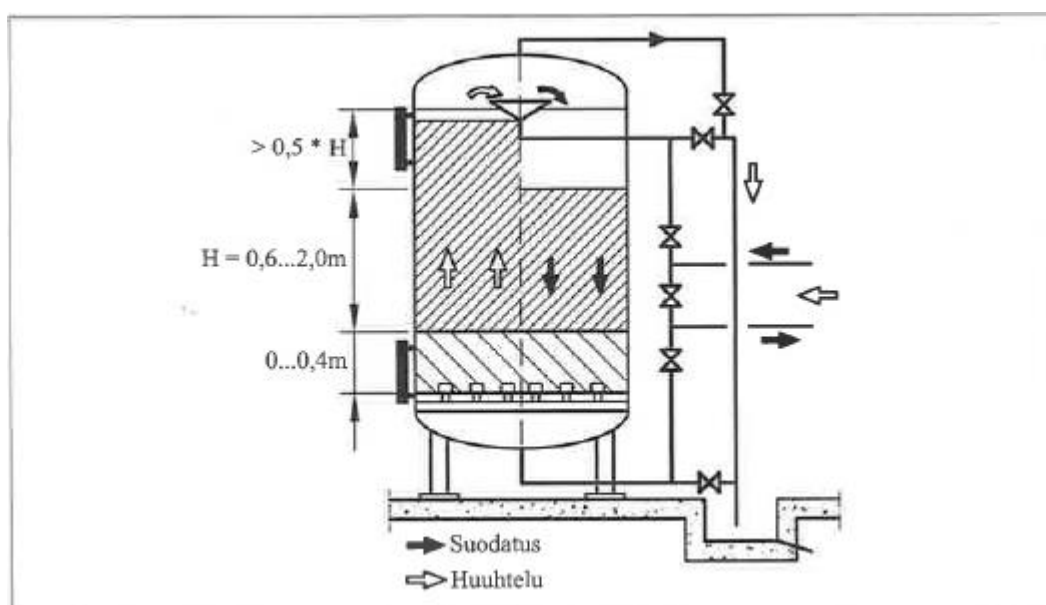
Nordkalkin mitoitusohjeen mukaan tehollisen viipymän tulisi olla luokkaa 40–60 minuuttia. Tämä tarkoittaisi kalkkirouheen määrässä 11–17 m³. Kaivon pohjalle tulevan kalkkikivikerroksen korkeus olisi 1,6–2,4 metriä. (Nordkalk 2005, 3).

6.1.1 Tehostuskeinoja kaivon pohjalla tapahtuvaan alkalointiin

Mitä enemmän vedessä on rautaa ja mangaania, sitä enemmän sakkaa muodostuu, eli sitä useammin kalkkikivi on huuhdeltava tai vaihdettava. Käsittelylle olisi siis kehitettävä toimiva huuhtelumenetelmä. Nordkalkin esitteessä ehdotetaan esimerkiksi huuhteluputkea kalkkikivikerroksen alapuolelle, jona voisi toimia salaojaputki kiepillä suodatinkerroksen alapuolella. Menetelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon, mistä saadaan riittävällä paineella riittävästi huuhteluvettä, mihin huuhteluvesi pumpataan ja miten. Lisäksi, jos pohjaventtiili tai uppopumppu on lähellä kaivon pohjaa, voi olla riskinä, että rouhe pyörteilee kaivon pohjassa ja nousee putkiston kautta käyttöpisteisiin pumpun imun vaikutuksesta. Tämä ongelma voidaan minimoida valitsemalla olosuhteisiin sopiva, riittävän suuri raekoko. Toimiakseen toivotulla tavalla, kalkkikivisuodatus tarvitsee säännöllistä huoltoa niin kuin kaikki muutkin menetelmät. Huoltotoimenpiteitä ovat huuhtelu ja uuden kalkkikivirouheen lisääminen. Huuhteluväli riippuu rauta- ja mangaanipitoisuuksista. Jos käsiteltävä vesi ei sisällä suodattimeen saostuvia aineita, voi huuhteluväli olla yli vuodenkin. Lisäystarve vaihtelee 1–2 vuoden välillä riippuen veden happamuudesta ja hiilidioksidipitoisuudesta. (Nordkalk 2005, 4–5.)

6.1.2 Painesuodatus

Painesuodattimen etuna on, että pienillä laitoksilla suodatin voidaan rakentaa painetta kestävä säiliön sisään ja näin välttyään kaksinkertaiselta pumppaukselta (kuva 16). Painesuodattimissa käytetään suodatinpohjana suuttimilla varustettua teräspohjaa tai erityisrakenteita, joita suodatin vaatii. Vastavirtahuuhtelun vesi johdetaan poistoviemäriin suodattimen yläosasta. Suodatusnopeus avosuodattimissa on tavallisesti 5 m/h kun se painesuodattimissa vaihtelee välillä 10–12 m/h. Nykyisessä suodatuksessa pintakuorma on noin 1 m/h. Painesuodattimiin on nykyään tarjolla nopeasti reagoivia kalsiumkarbonaattimassoja, joilla kontaktiaikaa voidaan lyhentää noin 1/5–1/10-osaan normaaliin kalkkikivisuodatuksen verrattuna. Alkaloivia massoja käytetään suodattimissa vapaan hiilidioksidin neutraloimiseen, pH:n nostoon ja raudan poistoon. Painesuodatus yhdistettynä desinfiointiin olisi käytännöllinen ja varmatoiminen ratkaisu vedenkäsittelylle pienemmillä vedenottamoilla. (Pohjavesilaitosten kehittäminen 1997, 42; Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 399; Binnie ja Kimber 2013, 231.)



KUVA 16. Painesuodatin (Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 398, kuva 314.)

Ramboll Finland Oy:n ryhmäpäällikkö Heikkinen (2018-04-11) ohjeisti, että painesuodatusta suunniteltaessa pitäisi olla tiedossa virtaama ja veden laatu, joiden perusteella valitaan oikean kokoinen suodatin ja sopiva alkaloiva massa. Mitoitusvirtaama kannattaa suunnitella isommaksi, kuin keskimääräinen virtaama. Suodattimen huuhtelua ajatellen pumpun tehon tulisi olla riittävä, eikä kaivopumpuilla yleensä päästä riittävään virtaamaan, jotta lika-ainepartikkelit irtoavat kalkkikivimassan pinnalta. Huuhtelu hoidetaan kaivovedellä tai vesitornin ollessa läheisyydessä mahdollisesti sen vedellä. Tarvittaessa huuhteluveden riittävyyden varmistamiseksi voisi hyvä olla olemassa säiliö tai allas huuhteluvedelle, jos kaivoon tulevan veden määrä ei muuten riitä ja samalla säiliöllä voidaan taata huipputunnin aikana riittävä veden määrä käyttäjille. Huuhteluvesi tulisi imeyttää jonnekin. Mahdollisuuksien mukaan huuhteluvesi voidaan pumpata erilliseen säiliöön ja johtaa se verkostoon esimerkiksi sekoittamalla sitä suodattamattoman raakaveden kanssa. Vastavirtahuuhtelu painesuodattimessa tehdään ilmalla ja vedellä. Suunnitellun laitetilän tulisi olla tarpeeksi korkea, jotta kalkkikivisäkit mahdutaan

kaatamaan yleisten päättätävien suodattimien sisään. Paineilmaventtiilit ovat edullisempia. Painesuodatinta ajatellen on mahdollista tilata valmis toimitus, johon kuuluu myös ohjausyksikkö ja UV-desinfioinninkin voi liittää sen yhteyteen. Laitetilassa pitäisi olla ainakin paine-, virtaama- ja pH-mittaus. Alkaloiva massa painesuodatinta varten valitaan yleensä laitetoimittajan toimesta, joka päättää mikä on paras halutun alkalointituloksen tavoittamiseen. Esimerkiksi Magnodol-massan seurauksena pH voi nousta yli kymmeneenkin raakaveden laadusta riippuen. On myös olemassa turvallisempia vaihtoehtoja, joissa pH jää tietylle tasolle kuten Juraperle-massa. Painesuodattimien laitetoimittajia ovat esimerkiksi HyXo Oy, ProMinent Finland Oy ja Akva Filter Oy.

Ylä-Savon Vesi Oy:n Sukevalla sijaitsevalla Järvenpään laitoksella on käytössä kaksi painesuodatinta kahdessa eri linjassa eli Sukevan kylän ja Sukevan vankilan suuntaan. Suodattimissa on käytössä Juraperle-massa raekoolla 1–2 mm ja virtaama suodatinta kohden on 9 m³/d (Opinnäytetyöpalaverin muistio 2018-02-17–2018-02-24). Ylä-Savon Vesi Oy:n sähköasentaja Rissanen (2018-02-27) kertoi, että kalkkikivimassaa lisätään suodattimiin vuosittain noin kahdeksan säkkiä. Alun perin suunniteltu lisäysväli on ollut kaksi vuotta. Hänen mukaansa suodatus on muuten toiminut hyvin, mutta magneettiventtiileitä särkyy usein. Kalvoventtiilit ovat olleet kestävämpiä eikä niitä ole särkynyt. Lisäksi suodattimessa ei näe veden virtausta, joten jonkinlainen virtausvahti olisi hyvä olla olemassa suodatuksen yhteydessä. Kesällä veden virtauksen pystyy näkemään suodatinsäiliön ulkopinnasta veden tiivistymisenä, mutta muina vuodenaikoina veden virtausta ei juuri pysty havainnoimaan. Suodattimen vastavirtahuuhdeltu toimii hyvin. Valvontatutkimusohjelman mukaan otettujen näytteiden perusteella painesuodatus on keskimäärin nostanut veden pH:ta lähes yhdellä pH-yksiköllä Vankilan linjassa arvosta 6,7 arvoon 7,6 ja kylän linjassa arvosta 6,9 arvoon 7,7. Sähkönjohtavuus on myös lähes kaksinkertaistunut molemmissa linjoissa.

6.1.3 UV-desinfiointi

UV-desinfiointi on hyvä varokeino pohjavedenottamolla pohjaveden mikrobiologisen saastumisen varalta. UV-laite voidaan pitää päällä jatkuvatoimisesti, eikä se aiheuta haittaa veden laadulle, kun taas kloori saattaa aiheuttaa muutoksia veden maussa. UV-menetelmä on turvallinen eikä aiheuta yliannostuksen vaaraa, mutta se edellyttää täysin kirkasta ja väritöntä vettä ja vain lyhyttä tunkeutumismatkaa. Vaikka se ei estä verkostossa tapahtuvaa saastumista, on se tehokas keino inaktivoimaan raakaveden bakteerit, virukset, alkueläimet ja niiden kystat. Lyhytaaltoista UV-säteilyä voidaan siis käyttää mikro-organismien inaktivoimiseen. Matala- ja keskipaineiset elohopeahöyrylamput ovat tällä hetkellä ainoita UV-valon lähteitä, joita käytetään veden desinfiointiin kunnallisissa laitoksissa. (Talousveden desinfiointi ultraviolettivalolla 2003, 1–2; Vesihuolto II: RIL 124-2 2004, 159; Ahonen 2013, 14.)

Ahonen (2013) esittää diplomityössään, että LEDit toimivat pienjännitteellä ja tasavirralla, joten esimerkiksi paristot tai aurinkopaneelit soveltuisivat niiden energialähteeksi. LEDit ovat kuitenkin vasta viime vuosina kehittyneet siten, että niillä voidaan emittoida desinfiointiin sopivia lyhyitä aallonpituuksia. Perinteiseen elohopeahöyrylampuilla tapahtuvaan UV-desinfiointiin verrattuna LED-lamput ovat energiatehokkaampia, koska niillä pystytään tuottamaan säteilyä lähes monokromaattisesti tietyllä

aallonpituudella. Elohopeahöyrylampuissa energiaa kuluu, kun tuotetaan mikro-organismien tuhoamisen kannalta tehottomia aallonpituuksia niiden laajaspektrisen säteilyn vuoksi. Lisäksi LED-lamput ovat helposti kokoonpantavia, kompaktin kokoisia ja kestäviä, eivätkä ne sisällä ympäristölle haitallista elohopeaa. (Ahonen 2013, 14–15.)

6.1.4 Hiilidioksidin syöttö

Hiilidioksidin syöttöä prosessiin voi harkita, jos sen määrä ei ole tarpeeksi suuri kovuuden tai alkaliteetin noston kannalta. Hiilidioksidi voidaan toimittaa nestemäisenä säiliöissä. Suurimmilla laitoksilla on käytössä kiinteitä säiliöitä, jotka sijoitetaan yleensä ulos. Hiilidioksidi on raskaampaa, kuin ilma ja saattaa kerääntyä tiloihin, joissa ei ole riittävää ilmanvaihtoa. Hiilidioksidin annostelu prosessiin voidaan hoitaa joko suoraan tai liuotettuna veteen. Liian lähelle pumppuja syötettynä hiilidioksidi saattaa aiheuttaa syöpymistä ja sähkökatkon yhteydessä kavitaatiota vettä syrjäyttäessään. Alkukemikaalina syötettynä se saattaa myös aiheuttaa korroosiota betonirakenteisiin, minkä takia kaksivaiheisia ratkaisuja on myös toteutettu. (Pohjavesilaitosten kehittäminen 1997, 45.)

6.2 Suositeltavat ratkaisut vedenkäsittelyprosessin tehostamiseksi Iso-Valkeisen pohjavedenottamolle

Iso-Valkeisen vedenottamon liittyjien yhteenlaskettu käyttäjämäärä on noin 360 henkilöä. Väestöennusteen perusteella Varpaisjärven asukasluku pienenee 7 % vuosien 2020–2030 välillä. Pumppausmäärä Iso-Valkeisen ottamolla on ollut 17 % suurempi vuonna 2011 verrattuna vuoden 2017 pumpppaukseen 127 m³/d. Vuonna 2017 kotitalouksen osuus on ollut noin 52 %, eläintilojen noin 46 % ja teollisuuden noin 2 %. Keskimäärin pumppaus on ollut vuosina 2011–2017 päivässä 140 m³. Mitoitusarvo 160 m³ päivässä on siis riittävä, mutta se voi käydä jossain vaiheessa mahdollisesti liian suureksi väestöennusteen perusteella. Mitoitusarvona voisi siis harkita arvoa 130 m³ tai väestöennusteen perusteella jopa alle. (Iso-Valkeisen vedenottamon vedenkäyttäjät 2018-02-23–2018-02-26; Stat.fi.)

Vedenkäsittelylaitoksen mitoitusvirtaamana käytetään

Q_{mit}	130 m ³ /d
q_{mit}	7,0 m ³ /h, 2,0 l/s.

Laskennallinen maksimituntivirtaama on noin 11 m³/h. Vedenkäsittelylaitosta ei kannata mitoittaa näin suurelle virtaamalle. Sen sijaan verkostopumput ja mahdollinen UV-laitteisto voidaan mitoittaa virtaamalle 11 m³/h, jotta vedensaanti saadaan varmistettua myös huippukulutustilanteessa. Maksimikulutustilanteiden voidaan olettaa tapahtuvan vapaa-ajanasuntojen ollessa käytössä kesäaikaan.

Vedenlaatutietojen perusteella vesi on vuosina 2006–2017 ollut melko hapanta (pH keskimäärin 6,9), pehmeää (kokonaiskovuus keskimäärin 0,29 mmol/l) ja alkaliteetti on alhainen (keskimäärin 0,35 mmol/l), joten se edellyttää alkalointia. Hiilidioksidipitoisuus viimeksi 2018 otetussa näytteessä oli 5,7 mg/l. Raudan (<24,6 µg/l) ja mangaanin (<2,9 µg/l) pitoisuudet ovat keskimäärin olleet hyvin pieniä.

6.2.1 Vaihtoehto 1: Nykyinen kaivon pohjalla tapahtuva kalkkikivialkalointi

Käsittelyprosessin osakokonaisuudet:

- raakavedenotto nykyisestä kuilukaivosta
- toimivan huuhteluratkaisun rakentaminen
- kalkkikivirouheen lisäys kaivoon ja rouheen läpi tapahtuva alkalointi
- veden pumppaus jakeluverkostoon

Jotta vesi alkaloituisi tarpeeksi tällä menetelmällä, tulisi siirtyä pienempään A1-rouheen raekokoon 1–3 mm ja tehollista viipymää tulisi kasvattaa ainakin arvoon 15 minuuttia. Tämä tarkoittaa vähintään 4 m³ kalkkikiveä kaivoon, eli 60 cm:n kerrosta kaivon pohjalle. Jos halutaan pysyä nykyisessä 2–5 mm:n kalkkikivirouheessa, tarvitaan pidempi tehollinen viipymä (vähintään 20 minuuttia) eli suurempi määrä (5,5 m³) saman alkalointituloksen saavuttamiseksi. Kalkkirouhetta valitessa ja lopullista kerrospaksuutta suunnitellessa tulee huomioida myös, että missä on pumpun imupää, ettei liian pienen raekokoon kalkkikivi pyörteilisi kaivossa ja nousisi pumpun imun voimasta verkostoon. Iso-Valkeisen pohjavesi ei sisällä paljoa rautaa ja mangaania, joten yli vuodenkin huuhteluväli kalkkikivelle voi riittää. Huuhtelua varten tulisi kehittää jonkinlainen ratkaisu, kuten salaojaputki kiepillä rouheen alapuolella. Kalkkikiveä tulisi lisätä ainakin kahden vuoden välein kaivoon. 15 minuutin tehollisella viipymällä saavutetaan ainakin pH-arvo 7,5, joten jatkuvatoimisella pH-mittauksella nähdään, milloin kalkkikiveä olisi syytä lisätä kaivoon.

6.2.2 Vaihtoehto 2: Painesuodatin

Käsittelyprosessin osakokonaisuudet:

- raakavedenotto nykyisestä kuilukaivosta
- raakaveden pumppaus yksi- tai kaksilinjaiseen painesuodatukseen
- painesuodatukselta vesi mahdolliseen säiliöön, joka rakennettu huippukulutuksen aikaista vedenkäyttöä ja huuhteluvettä varten
- veden pumppaus mahdollisesta säiliöstä verkostopumpuilla mahdollisen UV-desinfiointilaitteen kautta verkostoon

Painesuodatuksen etuina on helppohoitoisuus ja automaattinen huuhtelu kaivon pohjalla tapahtuvaan alkalointiin nähden. Kun suodatusvastus nousee liian suureksi, suoritetaan vesi- ja ilmahuuhtelu. Jatkuvatoiminen suodatusvaihe ja ilma- sekä vesihuuhteluvaihe tapahtuvat automaation ohjaamina. Ilmahuuhtelussa kompressorilla puhalletaan suodattimeen ilmaa, jolloin ilma siirtyy pohjalevyssä olevien suuttimien kautta kalkkikivipatjaan ja sekoittaa patjaa, jolloin siinä olevat epäpuhtaudet irtoavat. Ilmahuuhteluvaiheen kesto on noin 10–15 minuuttia. Ilmahuuhteluvaiheen jälkeen alkaa vesihuhteluvaihe. Vesihuhtelussa huuhteluvesi kulkee vastavirtaan ja poistaa suodattimessa olevat epäpuhtaudet huuhteluvesiputken kautta pois suodattimesta. Pumppaukseen voidaan käyttää esimerkiksi verkostopumppua. Huuhteluvedelle tulee rakentaa esimerkiksi maahanimeytyskaivo betonirenkaista tai vesisäiliö. Vesihuhtelun kesto on noin 10–15 minuuttia. Huuhtelukertojen lukumäärä määräytyy rauta- ja mangaanipitoisuuden perusteella. Alkaloiva massa kuluu suodattimen käytön aikana, joten

suodattimeen tulee lisätä suodatusmassaa. Virtaama on suurempi, kuin Sukevalla, joten massaa voisi lisätä aluksi noin 6–12 kuukauden välein ja seurata miten veden alkaloituminen alkaa käyttäytyä (Akva Filter Oy). Lisäystarve voi olla suurempikin. Laitoksella ei ole tarvetta alentaa hiilidioksidia, sillä viimeksi mitatussa näytteessä sen määrä oli 5,6 mg/l. Painesuodatusta varten tulee rakentaa riittävän suuri laitetila, johon tulee vesipiste, painesuodatin, mahdollinen UV-desinfiointi, verkostopumppu ja puhallin huuhteluilmaa varten. Lisäksi tulee miettiä mahdollisen alavesisäiliön rakentamisen tarvetta. Laitokselle tarvitaan jatkuvatoiminen lähtevän veden pH:n, verkostopaineen ja verkostoon pumpattavan veden määrän mittaus. pH-mittauksen sijaan tai rinnalle myös jatkuvatoiminen sähkönjohtavuuden mittaus voisi antaa tietoa alkalointiprosessin toimivuudesta. Akva Filter Oy:n esimerkiksi toimitama AF-1300 tai AF-1600 kokoluokan teräksinen painesuodatin voisi olla sopiva Iso-Valkeisen vedenottamolle. He ovat toimittaneet 120 m³/d mitoituskulutuksella yhden alkaloivan vastavirtaperiaatteella toimivan painesuodattimen (AF-1300) eräälle vesiosuuskunnalle Pohjois-Savossa. 150 m³/d mitoitukselle on toimitettu myös kahden painesuodattimen yhdistelmiä. (Akvafilter.fi.)

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli tehdä selvitys Iso-Valkeisen pohjavedenottamon veden laadun nykytilasta ja selvittää nykyisen prosessin toimivuutta. Työssä tarkasteltiin vuosina 2006–2017 talousveden valvontatutkimusohjelman mukaan otettujen näytteiden tuloksia sekä tehtiin omat määritykset kaivon vedestä ennen koeajoja. Koeajon mitoituksessa käytettiin apuna vesihuollon käsikirjoja ja kalkkikivialkalointipasta. Edellisten näytteenottojen perusteella kaivon vesi on hyvin pehmeää ja pH-arvo on melko alhainen. Vuonna 2006 pH-arvo ja muutkin tulokset ovat olleet erinomaisia. Vuoden 2012 kaivon puhdistuksen ja kalkkikiven lisäyksen jälkeen pH-arvo myös nousi hiukan, mutta palasi taas nopeasti samalle tasolle kuin ennen lisäystä. Veden korroosioindeksi on myös ollut parhaimmillaan vuonna 2006, mutta kolmen viimeisimmän näytteenoton perusteella se on ollut Vesilaitosyhdistyksen (VVY) suositusarvon alapuolella. Vuoden 2012 kalkkikiven lisäyksen jälkeen korroosioindeksiarvo pysyi kahden vuoden ajan suositellun arvon yläpuolella. 800 kg:n kalkkikiven lisäyksellä saavutettiin siis kahden vuoden ajan riittävä alkalointitulos. Näytteenoton perusteella havaittiin, ettei kaivon pohjassa ole enää yhtään kalkkikiveä.

Laboratoriokokeiden perusteella raakavesi oli korroosioindeksiltään suositusarvon mukainen, mutta tulokseen aiheuttaa virhettä veden lämpötila. Hooverin nomogrammistä saatiin negatiivinen arvo, eli vesi liuottaa kalkkia myös alkaloinnin jälkeen, mutta raakavesi eniten määritellyistä näytteistä. Aiemmista näytteistä kylläisyysindeksiä ei pystytty määrittämään, koska kalsiumpitoisuutta ei oltu mitattu. pH-arvo nousi hyvin molemmilla kalkkikivirouheilla suodatettaessa. 5 minuutin tehollisella viipymällä simuloitiin kaivossa olevaa vastaavaa viipymää. Samalla 5 minuutin tehollisella viipymällä A2-rouheella suodatetusta vedestä mitattu pH 7,6 oli selvästi pienempi verrattuna A1-rouheella suodatetun veden keskimääräiseen pH-arvoon 8,12. Suodatuskokeissa oli tarkoituksena selvittää viipymän vaikutusta alkalointitehokkuuteen. Viipymäkokeet erilaisilla tehollisen viipymän arvoilla tehtiin kaivossa viimeksi käytössä olleella 2–5 mm raekokojakauman omaavalla A2-rouheella. pH nousi tasaisesti melkein loppua kohdenkin viipymän pidentyessä. Tehollista viipymää pidennettäessä alkalointi siis vaikuttaa paremmin. Nykyinenkin viipymä voi siis olla riittävä, jos kalkkikiveä lisätään säännöllisesti. Näistä tuloksista voidaan todeta, että vedenlaatu riippuu olennaisilta osin myös siitä, mikä on aina hetkellinen vedenkulutus kaivosta. Kyllästysindeksi oli parhaimmillaan 16 minuutin tehollisen viipymän aikana, vaikkakin vesi oli siltikin vielä hieman kalkkia liuottavaa. Suuremmalla alkaliteetin ja kovuuden arvoilla voitaisiin päästä parempiin tuloksiin kyllästysindeksin suhteen. A1-rouheella päästiin lähelle kyllästysindeksin tasapainoarvoa jokaisen mittauksen kohdalla, vaikka viipymä pysyikin samana. Kokeissa todistettiin siis, että pienempi raekoko ja pidempi viipymä luovat pohjan paremmalle alkalointitehokkuudelle. Lisäksi sekoituksella alkalointi nopeutuu.

Kalkkikivialkalointioppaan ja Nordkalkin mitoitusohjeiden perusteella kalkkikivirouheen määräksi saatiin suurempia tuloksia, kuin mitä kaivoon oli viimeksi laitettu. Tilavuuden kasvu johtuu tehollisen viipymän kasvattamisesta. Kuitenkin laboratoriokokeissa huomattiin, että nykyiselläkin määrällä ja viipymällä veden laatu parani pH-arvoltaan, kalsiumpitoisuudeltaan ja alkaliteetiltään alkaloinnin jälkeen suositeltujen arvojen paremmalle puolelle. Jatkossa tulisi ottaa huomioon, että kalkkikiveä lisätään vuosittain ja laitetaan jo alun perin riittävä määrä eli aiemmin käytettyä 2–5 mm raekoon kalkkikiveä

vähintään $5,5 \text{ m}^3$ (noin 8 600 kg), jotta saavutettaisiin vähintään 20 minuutin tehollinen viipymä ja riittävä alkalointi myös huippukulutuksen aikana. Toisaalta kannattaisi vaihtaa pienempään rouheeseen (1–3 mm), jotta vesi alkaloituisi tehokkaammin ja vähintään 4 m^3 voisi riittää. Toimiva huuhtelu kalkkikivelle tulisi myös järjestää. Tulee myös ottaa huomioon, ettei kalkkikiveä tarvitse niin paljon, jos kaivon mitoutusvirtaama laskee. Esimerkiksi $130 \text{ m}^3/\text{d}$ virtaamalle $3,4 \text{ m}^3$ 1–3 mm:n kalkkikivirouhetta riittää 15 minuutin tehollisen viipymän saavuttamiseksi.

Vaihtoehdoista painesuodatin on helpoin käyttää ja ylläpitää Iso-Valkeisen vedenottamon veden laadun turvaamiseksi. Painesuodatuksella päästään nopeammalla suodatusnopeudella parempiin alkalointituloksiin, koska alkaloiva massa olisi hienompaa ja suodatin olisi helpompi pitää puhtaana automatisoitujen huuhtelujen avulla. Lisäksi suodatuksen yhteyteen kannattaa asentaa virtausvahti. Painesuodatuksen rakentamiseksi pitäisi tehdä investointeja ainakin uutta laitetilaa varten. Sen yhteyteen olisi hyvä samalla liittää myös UV-desinfointi, jotta veden mikrobiologinen laatu turvattaisiin. Laitteen voi tilata kokonaistoimituksena, joka sisältää kaiken valmiina. Nykyiselle vedenottamolle olisi suositeltavaa paine- ja virtaamamittausten lisäksi laittaa mittaus, jolla alkaloinnin toimivuutta voitaisiin seurata, ja tiedettäisiin välittömästi, milloin rouhetta tulisi lisätä. Helppohoitoinen jatkuvatoiminen mittaus voisi olla esimerkiksi sähkönsäätömittaus, kuten laboratoriokokeidenkin perusteella voidaan todeta. pH-mittaus voi olla epävarma, jos kalibrointia ei suoriteta tarpeeksi usein. Myös vesisäiliön rakentamista huuhteluvettä ja huippukulutuksen aikaista vedentarvetta varten tulisi harkita.

Työn tarkoituksena oli veden laatutietojen ja koeajojen perusteella löytää paras ratkaisu Iso-Valkeisen veden alkalointiin. Tuloksena saatiin suuntaa antava suunnitelma ja lähtötiedot, joita tilaaja voi hyödyntää kehittäessään vedenottamuuden toimintavarmuutta jatkoa ajatellen ja ollessaan yhteydessä mahdollisiin konsultteihin tai laitetoimittajiin. Laitteiden tarkka mitoittaminen ja lopullisten laitevalintojen tekeminen ei kuitenkaan ollut ajankohtaista tai mahdollista tässä vaiheessa.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

AHONEN, Elisa 2013. Veden desinfiointi UV-LED-valolla. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

AIRAKSINEN, Jussi 1978. Maa- ja Pohjavesihydrologia. Oulu: Kirjapaino Osakeyhtiö Kaleva.

AKVA FILTER OY. Akva Filter -painesäiliösuodattimet. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-15]. Saatavissa: <https://www.akvafilter.fi/site/wp-content/uploads/2012/01/AF-Akva-Filter-paines%C3%A4ili%C3%B6suodattimet.pdf>

Akvafilter.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-17]. Saatavissa: <https://www.akvafilter.fi/site/> Polku: Vedensuodattimet. Vesiosuuskunnat, vesilaitokset ja teollisuus. Referenssejä.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). 2014. Groundwater - Manual of Water Supply Practices, M21 (4th Edition). [viitattu 2018-04-16]. Saatavissa: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpGE000051/groundwater-4th-edition/groundwater-4th-edition>

BINNIE, Chris ja KIMBER, Martin. 2013. Basic Water Treatment (5th Edition). [viitattu 2018-04-16]. Saatavissa: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpBWTE0002/basic-water-treatment/basic-water-treatment>

DAVIS, Mackenzie L. 2011. Water and Wastewater Engineering; Design Principles and Practice. International Edition. New York: McGraw-Hill Companies.

ELY-keskus.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-12]. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi> Polku: ELY-keskus.fi. Ajankohtaista. Tiedotteet. 2017. Pohjavesialueiden luokitustyö etenee Pohjois-Savossa (Pohjois-Savo).

HEIKKINEN, Teemu 2018-04-11. Ryhmäpäällikkö. [haastattelu]. Savonlinna: Ramboll Finland Oy.

HERTTA-Ympäristötiedon hallintajärjestelmä. [viitattu 2018-02-06]. Saatavissa: http://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Ymparistotietojarjestelmat

HOWE, K., HAND, D., CRITTENDEN, J., TRUSSEL, R. ja TCHOBANOGLIOUS, G. 2012. Principles of Water Treatment. [viitattu 2018-04-16]. Saatavissa: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpPWT00004/principles-water-treatment/principles-water-treatment>

ISO-VALKEISEN VEDENOTTAMON VEDENKÄYTTÄJÄT 2018-02-23–2018-02-26. [Tilaaajan ja terveys-tarkastajien sähköpostikeskustelu]. Saatavissa: Kuopio: Saara Korhosen kokoelmat.

JANHUNEN, Maarit. 2017. Vesihuollon laboratoriotyöt: Talousvesiharjoitus 3. [opetusmoniste]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

KALKKIKIVIALKALOINTI – OPAS VEDEN SYÖVYTTÄVYYDEN VÄHENTÄMISEKSI. 2002. Helsinki: Vesi- ja viemärilaitosyhdistys.

KORHONEN, Saara 2018-03-27–2018-04-03. Kuvat 7 - 13 ja 15 [digikuvat]. OneDrive kotialbumi [verkkojulkaisu]. Sijainti: Kuopio: Saara Korhosen sähköiset kokoelmat.

LAPINLAHDEN KUNTA. Pohjavesialueen suojelusuunnitelma. Osa II. 0891606 A Huuhkaja. [verkkoaineisto]. 2013 [viitattu 2018-02-23]. Saatavissa: <http://www.yla-savonvesi.fi/loader.aspx?id=8acb5aaf-facc-4454-affb-0aaad02d4e75>

NATIONAL GROUND WATER ASSOCIATION. 1998. Manual of Water Well Construction Practices (2nd Edition). [viitattu 2018-04-16]. Saatavissa: <https://app.knovel.com/hot-link/toc/id:kpMWWCPE03/manual-water-well-construction/manual-water-well-construction>

NIEMELÄ, Ari ja STENDAHL, Kjell 2009. Vedenkäsittelyn käsikirja. Helsinki: Kemira. Vesihuollon osasto.

NORDKALK OY. Kaivoveden alkalointi kalkkikivirouheella – mitä pitää ottaa huomioon? [verkkoaineisto]. 2005 [viitattu 2018-02-07]. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40288/Liite%204.%20Kaivovesien%20kalkkikivialkalointi.pdf?sequence=6>

Nordkalk.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-02]. Saatavissa: <http://www.nordkalk.fi/>
Polku: Nordkalk.fi. Tuotteet. Kalkkikivi. Nordkalk Filtra A.

OPINNÄYTETYÖPALAVERIN MUISTIO 2018-02-17–2018-02-24. [Opinnäytetyöohjaajien, tilaajan ja opinnäytetyöntekijän välinen sähköpostikeskustelu]. Saatavissa: Kuopio: Saara Korhosen kokoelmat.

POHJAVESILAITOSTEN KEHITTÄMINEN. 1997. Helsinki: Vesi- ja viemärlaitosyhdistys.

POHJAVESITUTKIMUSOPAS. 2005. Suomen Vesiyhdistys. Vammalan Kirjapaino Osakeyhtiö.

PYYNY, Sari 2018-01-30. Kaivon puhdistus [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Saara Korhonen. [tulos-tettu 2018-03-12]. Saatavissa: Kuopio: Saara Korhosen kokoelmat.

PYYNY, Sari 2018-03-27. Kuvat 6 ja 14 [digikuvat]. OneDrive kotialbumi [verkkojulkaisu]. Sijainti: Kuopio: Saara Korhosen sähköiset kokoelmat.

RAASSINA, Sami ja SUOKAS, Tuomo 2001. Kalkkikivialkalointia käyttävät vesilaitokset Suomessa. Nykytilan kartoitus/ laitostiedot. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki: Oy Edita Ab.

RANTALA, Marjo 2007. Kalkkikivirouheella suoritettavan alkaloinnin optimoiminen. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 2018-02-06]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201003063385>

RISSANEN, Jukka 2018-02-27. Sähköasentaja. [haastattelu]. Iisalmi: Ylä-Savon Vesi Oy.

SOSIAALI- JA TERVEYSMINISTERIÖN ASETUS TALOUSVEDEN LAATUVAATIMUKSISTA JA VALVONTATUTKIMUKSISTA. L 2017/683. Finlex. Lainsäädäntö. [viitattu 2018-01-21]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170683>

Stat.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-15]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/>
Polku: Tilastot. Väestö. Väestöennuste. 2004. Väestöennuste kunnittain ja maakunnittain vuoteen 2040 - Muuttoliikkeen sisältävä laskelma.

SYKE. Pohjavesien laadullisen turvaamisen ja puhdistamisen hyödyt Suomessa. Suomen Ympäristökeskuksen raportteja 34. [verkkoaineisto]. 2013 [viitattu 2018-02-06]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42360/SYKEra_34_2013.pdf?sequence=1

SYKE. Pohjavesialueet -määrittäminen, luokitus ja suojelusuunnitelmat. [verkkoaineisto]. 2016 [viitattu 2018-04-12]. Saatavissa: file:///C:/Users/Saara%20K/Downloads/Pohjavesialueet_suojelusuunnitelmat_ohjeluonnos_vs_30112016_julkaisu_vs_3.pdf

TALOUSVEDEN DESINFIOINTI ULTRAVIOLETTIVALOLLA. 2003. Helsinki: Vesi- ja viemärlaitosyhdistys.

VANHANARKAUS, Outi 2012. Kalkkikivialkalointi yksityisten talousvesikaivojen kunnostusmenetelmänä. Helsingin yliopisto. Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, Geotieteiden ja maantieteen laitos. Pro Gradu -työ.

VESIHUOLTO I: RIL 124-1. 2003. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto.

VESIHUOLTO II: RIL 124-2. 2004. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto.

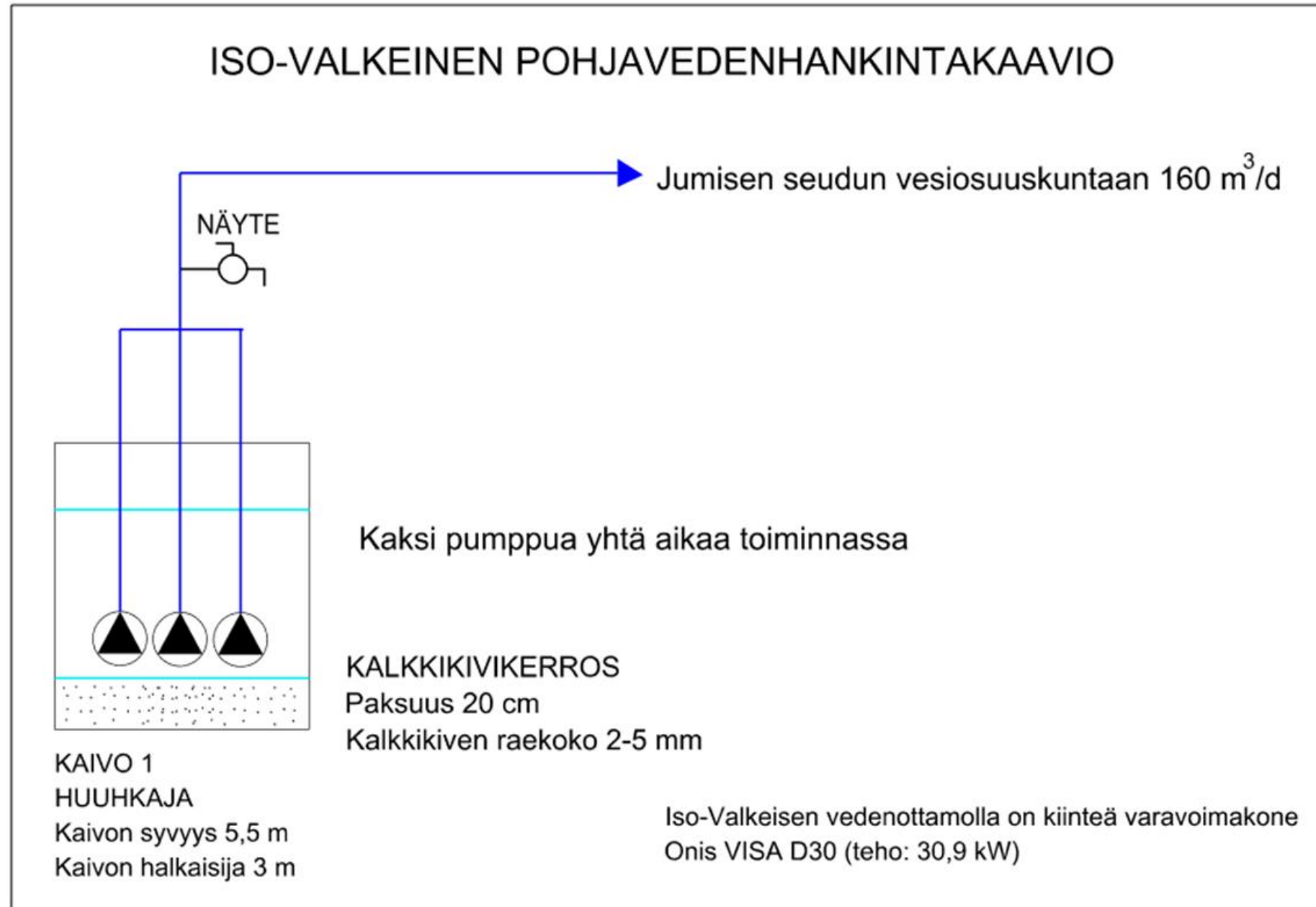
VESIJOHTOVEDEN LAATU JA KORROOSIO. 1993. Helsinki: Vesi- ja viemärlaitosyhdistys.

Yla-savonvesi.fi [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-02-08]. Saatavissa: <http://www.yla-savonvesi.fi/>
Polku: Yla-savonvesi.fi. Tietoa yhtiöstä.

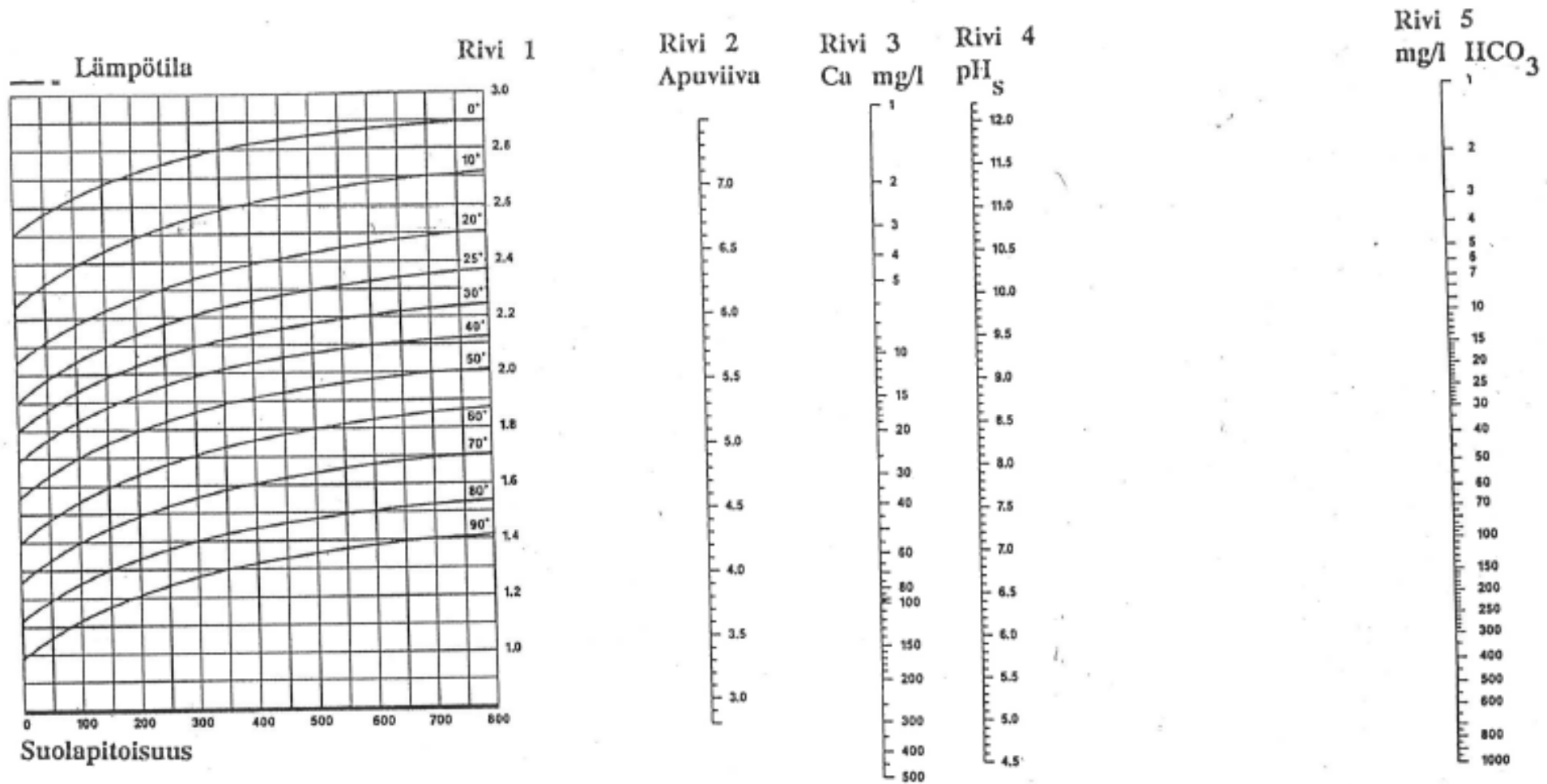
Ymparisto.fi. [verkkoaineisto]. [viitattu 2018-04-20]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/fi-FI>
Polku: Rakentaminen. Vedenhankinta kaivosta. Kaivoveden laatu ja riittävyys. Tietoa mangaanista.

ZEKTSER, Igor ja EVERETT, Lorne 2004. Groundwater resources of the world and their use. [viitattu 2018-04-15]. Saatavissa: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001344/134433e.pdf>

LIITE 1: ISO-VALKEISEN POHJAVEDENHANKINTAKAAVIO



LIITE 2: HOOVERIN NOMOGRAMMI



HOOVERIN NOMOGRAMMI

LIITE 3: ISO-VALKEISEN NÄYTETULOKSET 2006–2017

Iso-Valkeinen
Lähtevä

Vesta 16.1.2018/1

	Lämpö- tila °C	Haju	Maku	E. coli pmy/100ml	Koli- bakt. pmy/100ml	enterok. pmy/100ml	kok. bakt. pmy/ml	pH	Alkalini- teetti mmol/l	CO2 mg/l	asidi- teetti mmol/l	S. Johto- kyky µS/cm	Sameus FNU	Väri mg/l PT	Hapettu vuus mg/l
11.10.06	6,1	Ei todettu	Ei todettu	0	0	<2	1	8,1	1,1	<2	<0,05	120	0,17	<5	<1
16.4.08		Ei todettu	Ei todettu	0		0		6,8				58	0,16		
22.11.10		Ei todettu	Ei todettu	0	0	0		6,7	0,24			57	0,11		
11.10.11	6,2	Ei todettu	Ei todettu	0	0		1	6,7	0,23	4,7	0,11	60	0,14	<5	
14.5.12															
24.7.12	5,7	Ei todettu	Ei todettu	0	0		1	6,9				61	<0,1	<5	
30.10.12	6,1	Ei todettu	Ei todettu	0	0	<2	2	7,0	0,36	<2	<0,05	62	0,13	<5	<1
8.10.13	6,4	Ei todettu	Ei todettu	0	0	0	1	6,8	0,27	5,7	0,13	61	0,17	<5	<1
7.10.14	6,3	Ei todettu	Ei todettu	0	0	0	0	6,7	0,26	5,6	0,13	60	<0,1	<5	<0,5
6.10.15	6,3	Ei todettu	Ei todettu	0	0	0	1	6,7	0,23	5,7	0,13	29	0,35	<5	<0,5
11.10.16	6,5	Ei todettu	Ei todettu	0	0	0	0	6,6	0,24	6,1	0,14	61	0,35	<5	<0,5
4.7.17	5,7	Ei todettu	Ei todettu	0	0		0	6,6	0,21	5,1	0,12	56	0,16	<5	<0,5
Keskiarvo	6,1	0	0	0	0	<0,5	0,78	6,9	0,35	<4,6	<0,11	62,3	<0,18	<5	<0,71
Minimi	5,7	0	0	0	0	0	0	6,6	0,21	2	0,05	29	0,1	5	0,5
Maksimi	6,5					2	2	8,1	1,1	6,1	0,14	120	0,35	5	1

HUOM: Enterokokit 2006 ja 2012: Merkintä <2 pmy/100 ml johtuu siitä, että tuolloin 2006 ja 2012 on otettu erehdyksessä liian pieni määrä näytteitä eli enterokokkimääritys on tehty 50 ml:n määrästä, kun normaalisti se tehdään 100 ml:n määrästä. **Todellisuudessa ei ole ollut enterokokkeja vedessä.**

Iso-Valkeinen
Lähtevä

	permang. luku mg/l	nitriitti typpi mg/l	NO2 mg/l	nitraatti typpi mg/l	NO3 mg/l	Kok. kovuus mmol/l	Kok. kovuus °dH	Alu- miini µg/l	Arseeni µg/l	Hg µg/l	Na mg/l	F mg/l	Kloridi mg/l	SO4 mg/l	antimoni µg/l	Boori mg/l	Se µg/l	CN µg/l
11.10.06	<4	<0,005	<0,02	0,11	0,50	0,30	1,7	<3	<0,2	<0,1	16	0,077	2,1	5,9	<0,1	<0,01	<0,5	<10
16.4.08											<2							
22.11.10								<3	<2	<0,2	3,0		2,5	4,1	<0,5		<1	<10
11.10.11		<0,005	<0,02	1,4	6,4	0,17	0,94	<10	<1	<0,1	2,7	0,018	2,3	4,6				
14.5.12																		
24.7.12																		
30.10.12	<4	<0,005	<0,02	1,3	5,7	0,23	1,3	<3	<0,2	<0,1	2,6	<0,05	2,0	4,4	<0,1	<0,01	<0,5	<10
8.10.13	<4	<0,005	<0,02	1,3	5,9	0,19	1,1	<3	<0,1	<0,005	2,7	<0,05	2,1	5,1				
7.10.14	<2	<0,005	<0,02	1,3	5,8	0,19	1,1	1,5	<0,1	<0,005	2,6	<0,05	2,1	5,9				
6.10.15	<2	<0,005	<0,02	1,2	5,6	0,17	0,97	1,4	<0,1	<0,005	2,5	<0,05	2,1	5,5				
11.10.16	<2	<0,002	<0,007		6,2	0,92	5,2	1,7	<0,1	<0,005	2,6	<0,02	2,2	5,2				
4.7.17	<2					0,18	0,98									-		
Keskiarvo	<2,9	<0,0046	<0,018	1,1	5,2	0,29	1,7	<3,3	<0,47	<0,065	<4,1	<0,045	2,2	5,1	<0,23	<0,01	<0,67	<10
Minimi	2	0,002	0,007	0,11	0,5	0,17	0,94	1,4	0,1	0,005	2	0,018	2	4,1	0,1	0,01	0,5	10
Maksimi	4	0,005	0,02	1,4	6,4	0,92	5,2	10	2	0,2	16	0,077	2,5	5,9	0,5	0,01	1	10